

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

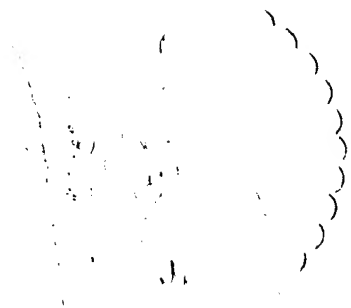
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 7 月 2 4 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 2 7 9 0 9 7
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 2 7 9 0 9 7]

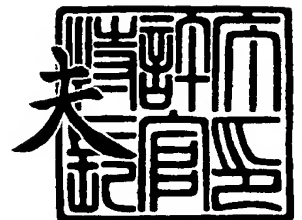
出 願 人 松 下 電 器 産 業 株 式 会 社
Applicant(s):



2 0 0 3 年 9 月 1 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康



【書類名】 特許願
【整理番号】 2931050033
【提出日】 平成15年 7月24日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01H 59/00
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 清水 紀智
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 中西 淑人
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 中村 邦彦
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 内藤 康幸
【特許出願人】
 【識別番号】 000005821
 【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100097445
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 岩橋 文雄
【選任した代理人】
 【識別番号】 100103355
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 坂口 智康
【選任した代理人】
 【識別番号】 100109667
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 内藤 浩樹
【先の出願に基づく優先権主張】
 【出願番号】 特願2002-221009
 【出願日】 平成14年 7月30日
【先の出願に基づく優先権主張】
 【出願番号】 特願2003- 21852
 【出願日】 平成15年 1月30日
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 011305
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9809938

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

可動電極と可動電極の両側面に所定の空間を介して位置する可動電極駆動用固定電極と、前記可動電極と所定の空間を介して配された信号伝達用固定電極からなり、前記可動電極は側面における所定の位置に複数の凸部と凹部を有し、前記可動電極駆動用固定電極は前記可動電極の側面の凸部と凹部にそれぞれ対応して凹部と凸部を有し、可動電極の側面に形成された凸部は可動電極駆動用固定電極に形成した凹部に取り囲まれるように配置され、かつ可動電極駆動用固定電極の凸部は可動電極の側面の凹部に取り囲まれるように配置したことを特徴としたスイッチ。

【請求項 2】

前記可動電極の側面に形成された凸部は、この凸部の長さよりも短い距離からなる所定の空間を介して可動電極駆動用固定電極に形成した凹部に取り囲まれるように配置したことを特徴とした請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 3】

前記可動電極駆動用固定電極の凸部は、可動電極駆動用固定電極の凸部の長さよりも短い距離からなる所定の空間を介して可動電極の側面の凹部に取り囲まれるように配置したことを特徴とした請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 4】

可動電極と可動電極駆動用固定電極の膜厚が同じであることを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 5】

信号伝達用固定電極は、可動電極の長辺方向側面の所定の位置に形成する複数の凸部と凹部に対応した凸部と凹部の形状を側面に有することを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 6】

可動電極の長辺方向両側面に位置する両可動電極駆動用固定電極の凹部間距離より信号伝達用固定電極の幅の方が大きいことを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 7】

可動電極の長辺方向側面の両側の凸部間距離より信号伝達用固定電極の幅の方が小さく、かつ可動電極の長辺方向側面の両側の凹部間距離より信号伝達用固定電極の幅の方が大きいことを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 8】

可動電極の長辺方向側面の両側の凹部間距離より信号伝達用固定電極の幅の方が小さいことを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 9】

可動電極面の所定の位置に複数の穴があることを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 10】

可動電極駆動用固定電極の所定の位置に複数の穴があることを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 11】

可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態において、可動電極の長辺方向側面の所定の位置に形成された複数の凸部と凹部と、可動電極駆動用固定電極に形成された凹部と凸部は垂直方向に重なった部分を有することを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 12】

可動電極の側面の複数の凸部のインピーダンスは、少なくとも複数の凸部以外の可動電極の部分からなるインピーダンスより高いことを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 13】

前記可動電極が信号伝達用固定電極と接触している状態から、所定の空間を介して信号伝達用固定電極と離れた位置に移動する場合、可動電極駆動用固定電極と可動電極間に電圧を印加する時間は、可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態から、可動電極の側面

に形成された凸部と可動電極駆動用固定電極に形成した凹部とで形成される所定の空間と可動電極駆動用固定電極の凸部と可動電極の側面の凹部とで形成される所定の空間の中でもっとも短い距離の移動に要する時間以下とすることを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 14】

前記可動電極が信号伝達用固定電極と接触している状態から、所定の空間を介して信号伝達用固定電極と離れた位置に移動する場合、可動電極駆動用固定電極と可動電極間に電圧を印加する時間は、可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態から、所定の空間幅になり、さらに次に可動電極が信号伝達用固定電極と接触する必要となる時間であることを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 15】

前記可動電極が信号伝達用固定電極と接触していない状態において、温度変化が生じた場合に、可動電極と可動電極駆動用固定電極間に静電力を印加することを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 16】

基板上にシリコン酸化膜を形成するステップと、前記シリコン酸化膜上に金属を形成するステップと、金属上のシリコン酸化膜をドライエッチングするステップと、金属をエッチングして電極間絶縁保持用シリコン酸化膜を形成するステップと、可動電極と可動電極の側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部は同一犠牲層上に形成するステップを有することを特徴とするスイッチの製造方法。

【請求項 17】

可動電極および可動電極駆動用固定電極を配置する場所にレジストマスクを形成するステップと、可動電極および可動電極駆動用固定電極を形成するステップと、レジストマスクおよび犠牲層を除去して容量低減用空間を形成するステップとをさらに有することを特徴とする請求項 16 記載のスイッチの製造方法。

【請求項 18】

犠牲層をポリイミドで形成するステップと、全面に AL 膜をスパッタリング法により形成するステップをさらに有することを特徴とする請求項 16 記載のスイッチの製造方法。

【請求項 19】

可動電極駆動用固定電極の下部の所定の位置に段差緩和用のパターンを形成することを特徴とする請求項 16 記載のスイッチの製造方法。

【請求項 20】

信号伝達用固定電極の側面の所定の位置に段差緩和用のパターンを形成することを特徴とする請求項 16 記載のスイッチの製造方法。

【請求項 21】

可動電極と可動電極駆動用固定電極は、同一工程で形成した膜をエッチングして形成されたことを特徴とする請求項 16 記載のスイッチの製造方法。

【請求項 22】

可動電極と可動電極駆動用固定電極は、同一のメッキ工程で形成することを特徴とする請求項 16 記載のスイッチの製造方法。

【請求項 23】

可動電極と可動電極の側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部はレジストからなる犠牲層上に形成することを特徴とする請求項 16 記載のスイッチの製造方法。

【請求項 24】

可動電極と可動電極の側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部はポリイミドからなる犠牲層上に形成することを特徴する請求項 16 記載のスイッチの製造方法。

【請求項 25】

基板上にシリコン酸化膜を形成するステップと、前記シリコン酸化膜上に金属を形成する

ステップと、金属上のシリコン酸化膜をドライエッチングするステップと、金属をエッチングして電極間絶縁保持用シリコン酸化膜を形成するステップと、信号伝達用固定電極の側面の所定の位置に段差緩和用パターンを形成するステップを有することを特徴とするスイッチの製造方法。

【請求項 26】

犠牲層を形成するステップと、全面に Al 膜をスパッタリング法により形成するステップと、可動電極を形成してから犠牲層および段差緩和用パターンを除去して容量低減用空間を形成するステップとをさらに有することを特徴とする請求項 25 記載のスイッチの製造方法。

【請求項 27】

犠牲層を形成するステップと、全面に Al 膜をスパッタリング法により形成するステップと、可動電極および可動電極駆動用固定電極を配置する場所に可動電極形成用マスクおよび可動電極駆動用固定電極形成用マスクを形成するステップと、可動電極および可動電極駆動用固定電極を形成してから犠牲層および段差緩和用パターンを除去して容量低減用空間を形成するステップとをさらに有することを特徴とする請求項 25 記載のスイッチの製造方法。

【請求項 28】

信号を増幅する増幅器と、アンテナと、接地側と接続する対接地接続スイッチとしての前記可動電極と、前記増幅器と前記アンテナを接続する直列接続スイッチとして、前記可動電極と所定の空間を介して配された信号伝達用固定電極とを備え、前記直列接続スイッチと前記対接地接続スイッチとを交互に接続、切断することにより信号の入出力制御を行うことを特徴とする無線回路。

【書類名】明細書

【発明の名称】スイッチおよびスイッチの製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、ON/OFF時の動作速度を向上させたスイッチとそのスイッチの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来における信号のスイッチとしては、例えば非特許文献1が知られており、図25に示すように高抵抗シリコン基板2501上に形成した信号伝達線2502と信号伝送線上に所定の空間を介し配置された可動接地線2503および接地線2504から構成される。このようなスイッチにおいては、図26に示すように可動接地線2503と信号伝達線2502からなる平行平板のキャパシタンス容量間に電圧を印加することで静電力を発生させ可動接地線2503と信号伝達線2502を高誘電体膜2505を介して接触させる。接触により信号伝達線と可動接地線間で形成されるキャパシタ容量が大きくなり、その容量に応じた周波数成分の信号が伝達される。

【0003】

このように可動接地線と信号伝達線間の電圧を制御することで信号伝達線から可動接地線へと信号の伝達の接続ならび切断を制御する事が可能となる。さらに、この方式によればLSIの製造工程と同様の工程で信号のスイッチを形成することができ、トランジスタ等の回路と同じ部分に信号のスイッチを形成することで、周波数特性や小型化に有利なスイッチを形成することが可能となる。

【0004】

信号の接続時、切断時ともに動作速度を向上させる手段として、可動電極を2方向に駆動するためにシーソーの形状を持たせたものも提案されており、例えば、非特許文献2に記されている。図27に示すようにGaAs基板2701上に形成した可動電極2703と引っ張り電極2705または押し電極2706間に電圧を印加することで、可動電極はねじれバネ2707を中心とした回転運動を行う。可動電極2703と引っ張り電極2705間に電圧を印加した場合は接触電極2704は信号線2702に接触する方向に、また、可動電極2703と押し電極2706間に電圧を印加した場合、接触電極2704は信号線2702から離れる方向に動くことで、可動電極2703と接触電極2704からなるキャパシタ容量を変化させることで接触電極2704および信号線2702間の信号を接続および切断制御を行うものである。

【0005】

微少部品を駆動させる方法としては、前記平行平板への電圧印加による静電力の他、凸部と凹部の組み合わせによる櫛歯駆動が知られており、例えば非特許文献3が知られている。図28において、静止櫛形電極2804と可動櫛形電極2805間に電圧を印加することで、ねじればね2802を中心に反射鏡2801に回転運動をさせるものである。

【非特許文献1】アイトリプルイー、2001年インターナショナル・エレクトロニクス・デバイス・ミーティング予稿集921ページ(IEDM Tech. Digest 01, p921, 2001)。

【非特許文献2】ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス論文集、2001年、40巻、2721ページ(Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 40, p2721, 2001)。

【非特許文献3】アイトリプルイー、マイクロ・エレクトロ・メカニカル・システムズ・コンファレンス2002年予稿集532ページ(MEMS 2002 Tech. Dig., p532, 2002)。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

これらのスイッチにおいては、信号伝達時の伝達効率並びに切断時の絶縁性とまた信号の接続切断の高速な動作が要求されている。

【0007】

しかしながら、LSIの製造工程と同様の工程でスイッチが形成可能な、信号伝送線上に空間を介し可動接地線を形成する装置の場合、可動電極を駆動する電極が信号伝達線のみであり、信号を信号伝達線から接地線へ切り替える場合には可動接地線と信号伝達線の間に電圧を印加し、駆動力を得ることが可能であるが、接地線へと伝達している信号を切断する場合は、可動接地線を構成する材料の有するバネのたわみが戻ることにのみにより動作させていたため、切り替え速度を早くすることは困難である。

【0008】

また、バネ常数の高い材料を用いれば接地線へと伝達している信号を切断する切り替え速度を向上することが可能であるが、トレードオフとして信号伝達線から接地線へと切り替える場合の動作速度が遅くなる、可動接地線と信号伝達線の間に印加する電圧が高くなる等の問題を有していた。

【0009】

また、信号伝送線上に空間を介し可動接地線を形成するスイッチにおいては、製造工程において信号伝送線の形成後、信号伝送線および可動接地線はエッチングされず該当材料のみエッチングされる犠牲層を正確な膜厚で形成し、しかる後、可動接地線を形成する。さらにその後、信号伝送線および可動接地線間の犠牲層を除去することで所定の空間を正確に形成する工程が一般的である。

【0010】

このような工程で形成する、信号伝送線上に空間を介し可動接地線を形成するスイッチにおいて、可動接地線上にさらに固定の可動接地線駆動用電極を設ける3層構造とした場合、接地線へと伝達している信号を切断する場合においても、可動接地線を高速に動かすことが可能となる。

【0011】

しかしながら、このような3層構造では製造工程において可動接地線の下のみならず可動接地線の上の犠牲層も正確に形成する必要があり、製造工程が複雑になってしまう。さらに、3層構造とした場合、信号伝送線、犠牲層、可動接地線、犠牲層、可動接地線駆動用電極と実際の工程では5層からなる段差が発生し、このような高段差に対してパターン形成などの工程を行うことは実質的に不可能である。

【0012】

またこのように梁構造でスイッチを形成する場合、温度変化によって、応力が変化する。これは梁を構成する材料と、基板を構成する材料の熱膨張係数が異なる場合に生じる。梁の応力が変化すると、梁のばね定数が変化するため、スイッチの応答時間および駆動電圧が変化する。

【0013】

また最悪の場合、ジャーナル オブ マイクロエレクトロメカニカルシステム 第11巻第4号 2002年 309ページに記載されているように温度変化により、梁が2 μ m以上も撓むことが知られている。

【0014】

高速応答化を図るためには、可動電極の駆動距離を所望のアイソレーションを得られる必要最小限の距離にする必要があるが、動作環境の変動を考慮すれば、温度変化により梁が撓む量も考慮して、電極間の距離を余分に長くする必要がある。このため、応答時間が更に遅くなるという課題を有していた。

【0015】

一方、シーソー型にした場合、信号電極と接触電極が重なった部分の面積でキャパシタ容量が形成される。

【0016】

この容量の大きさにより伝達可能な信号の周波数および伝達効率が決まるため、接触電

極の大きさは接続切断制御したい信号により決まり、ある決まった周波数の信号に対して接続、切断の特性を得るためには接触電極の大きさを小さくすることは不可能である。さらに可動電極全体の質量は接触電極の質量に加え引っ張り電極および押し電極とのキャパシタ容量も形成する部分も必要となってしまう。その結果、シーソー型の場合、直接信号の接続、切断に関与する部分以外にも電極を形成する必要がある、可動電極全体の質量がより増加してしまう。そのため、より高速な接続、切断動作に対して不利になるという問題を有している。

【0017】

さらに櫛形電極を用いた駆動方式では、基板面内方向に駆動を行うものについては比較的容易に形成が可能であるが、基板垂直方向に駆動するものでは高さ方向に構造物を形成する必要があるため形成工程が複雑になってしまうという問題を有している。

【課題を解決するための手段】

【0018】

本発明の目的は、かかる課題を解決すべく、可動電極の下方向の駆動と上方向の駆動を分離することで、構造物の高さを必要とすることなく、また信号の伝達効率および絶縁性を確保しかつ信号の接続切断の高速な動作を行うスイッチおよびその製造方法を提供することである。

【0019】

上記課題を解決するために、本発明に係るスイッチは、可動電極と可動電極の長辺方向の両側面に所定の空間を介して位置する可動電極駆動用固定電極と、前記可動電極と所定の空間を介して配された信号伝達用固定電極からなり、可動電極の長辺方向側面の所定の位置に複数の凸部と凹部の形状を有し、可動電極駆動用固定電極にも可動電極の側面の凸部と凹部に対応した凹部と凸部の形状を有し、可動電極の側面に形成された凸部は可動電極駆動用固定電極に形成した凹部に取り囲まれるように配置し、かつ可動電極駆動用固定電極の凸部は可動電極の側面の凹部に取り囲まれるように配置したことを特徴としたものであり、信号伝達用固定電極と可動電極間に電圧を印加することで、信号伝達用固定電極と可動電極間の静電力により可動電極を信号伝達用固定電極と接触させる。可動電極が信号伝達用固定電極に接触することで、可動電極と信号伝達用固定電極間のキャパシタ容量が大きくなり、周波数成分を有する信号は信号伝達用固定電極と可動電極間で接続される。

【0020】

また、本発明に係るスイッチは、可動電極の側面に形成された凸部が、可動電極の側面の凸部の長さよりも短い距離からなる所定の空間を介して可動電極駆動用固定電極に形成した凹部に取り囲まれるように配置したものであり、信号伝達用固定電極と可動電極間に印加した電圧を0とし、可動電極と可動電極駆動用固定電極間に電圧を印加することで、信号伝達用固定電極に接触している可動電極は可動電極駆動用固定電極との静電力により信号伝達用固定電極から所定の空間を介した位置に移動することで、可動電極と信号伝達用固定電極間のキャパシタ容量が小さくなり、周波数成分を有する信号は信号伝達用固定電極と可動電極間で切断されることで、信号の接続および切断動作を行うという作用を有する。

【0021】

また、本発明に係るスイッチは、可動電極駆動用固定電極の凸部が、可動電極駆動用固定電極の凸部の長さよりも短い距離からなる所定の空間を介して可動電極の側面の凹部に取り囲まれるように配置したものであり、信号伝達用固定電極と可動電極間に印加した電圧を0とし、可動電極と可動電極駆動用固定電極間に電圧を印加することで、信号伝達用固定電極に接触している可動電極は可動電極駆動用固定電極との静電力により信号伝達用固定電極から所定の空間を介した位置に移動することで、可動電極と信号伝達用固定電極間のキャパシタ容量が小さくなり、周波数成分を有する信号は信号伝達用固定電極と可動電極間で切断されることで、信号の接続および切断動作を行うという作用を有する。

【0022】

また、本発明に係るスイッチは、可動電極と可動電極駆動用固定電極の膜厚が同じであるスイッチで、本来可動電極の膜厚は信号の伝達に障害とならない範囲で薄い方が、質量を小さくすることが可能となり、接続、切断動作の速度を速くするのに有効である。一方、可動電極駆動用固定電極の膜厚は段差を乗り越える部分を有するため、厚い方が強度的に有利となる。しかしながら、可動電極側面の凸部および凹部、可動電極駆動用固定電極凹部および凸部間に電圧を印加することで可動電極に静電力を働かせ可動電極を上方向に駆動する場合、静電力は可動電極底部が固定電極底部より基板側に位置する場合および可動電極上面が固定電極上面より上側に位置する場合に大きな静電引力が発生する。そのため、可動電極とか可動電極駆動用固定電極の膜厚を同じ膜厚とすることで、静電力による可動電極の安定位置を正確に可動電極駆動用固定電極の位置と合わせることが可能となる。

【0023】

また、本発明に係るスイッチは、信号伝達用固定電極側面が可動電極の側面の凸部と凹部に対応した凸部と凹部を形状を有するものであり、信号伝達用固定電極を前記形状とすることで、可動電極と信号伝達用固定電極間のキャパシタ容量は可動電極側面に形成された複数の凸部の面積分大きくすることが可能となる。一方、可動電極駆動用固定電極の凸部の下部には信号伝達用固定電極が存在しないため、信号伝達用固定電極と可動電極駆動用固定電極間の寄生容量を小さくすることが可能となる。さらに、信号伝達用固定電極に設ける凸部形状の幅が信号伝達用固定電極を流れる信号の周波数と比較して十分高いインピーダンスを持つ場合、信号伝達用固定電極に設けた凸部と凹部は伝達する信号に対して何ら悪影響を与え内にも関わらず、可動電極を下方向に駆動する場合、駆動力を増加させることが可能となる。

【0024】

また、本発明に係るスイッチは、可動電極の両側面に位置する両可動電極駆動用固定電極の凹部間距離より信号伝達用固定電極の幅の方が大きいものであり、可動電極および可動電極側面と可動電極駆動用固定電極に形成した凸部および凹部全てが信号伝達用固定電極の上に配置するので、段差緩和用のパターンを信号伝達用固定電極の長辺方向側面の位置に形成した場合と同じ効果が得られ、可動電極側面と可動電極駆動用固定電極に形成した凸部および凹部全てが信号伝達用固定電極の上に配置することで、可動電極側面および可動電極駆動用固定電極形成のためのレジストマスク形成プロセスにおいて、より微細な凸部と凹部のパターン形成が可能となる。さらに、可動電極と信号伝達用固定電極間のキャパシタ容量に関しても最大にすることが可能となる。

【0025】

また、本発明に係るスイッチは、可動電極の長辺方向側面の両側の凸部間距離より信号伝達用固定電極の幅の方が小さくかつ可動電極の長辺方向側面の両側の凹部間距離より信号伝達用固定電極の幅の方が大きいものであり、可動電極の側面に形成される凸部と凹部の間に信号伝達用固定電極の端面を配置することで、可動電極の容量に大きく起因する凸部と凹部以外の部分は、信号伝達用固定電極が対向電極として存在し、かつ可動電極駆動用固定電極の凸部と凹部以外の部分は信号伝達用固定電極が存在しないため、可動電極と信号伝達用固定電極間のキャパシタ容量は比較的大きく、かつ可動電極駆動用固定電極と信号伝達用固定電極間の寄生容量は小さくすることが可能となる。

【0026】

また、本発明に係るスイッチは、可動電極の長辺方向側面の両側の凹部間距離より信号伝達用固定電極の幅の方が小さいものであり、信号伝達用固定電極の幅が小さいことで、可動電極長辺方向側面に形成する凸部と凹部の形状および可動電極駆動用固定電極に形成する凸部と凹部は共に信号伝達用固定電極のない位置に配置することが可能となり、段差のない部分で形成することが可能である。その結果、段差のない部分でのパターン形成は、より微細なパターンの形成が可能となるため、可動電極長辺方向側面および可動電極駆動用固定電極に形成される、凸部と凹部のパターンはより微細なパターン形成が可能となる。さらに、可動電極駆動用固定電極と信号伝達用固定電極間の重なった領域がないため

、可動電極駆動用固定電極と信号伝達用固定電極間の寄生容量を小さくすることが可能となる。

【0027】

また、本発明に係るスイッチは、可動電極面内の所定の位置に複数の穴があるものであり、可動電極に複数の穴を設けることで、スイッチの形成工程において前記穴を通して犠牲層除去を行うことができるため、犠牲層除去を容易に行うことが可能となる。さらに、スイッチを大気圧下で動作させて場合、可動電極駆動時、可動電極と信号伝達用固定電極間の気体の粘性により動作速度が制限されることを防ぐことができ、高速な接続、切断動作が可能となる。

【0028】

また、本発明に係るスイッチは、可動電極駆動用固定電極の所定の位置に複数の穴があるものであり、下部に犠牲層がある可動電極駆動用固定電極に複数の穴を設けることで、前記穴から犠牲層除去工程が進むことで犠牲層除去工程を容易にし、また大気圧下での動作においても、前記穴から気体の出入りが起こることで高速な接続、切断動作を行うことが可能となる。

【0029】

また、本発明に係るスイッチは、可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態において、可動電極の長辺方向側面の所定の位置に形成された複数の凸部と凹部と、可動電極駆動用固定電極に形成された凹部と凸部は垂直方向に重なった部分を有するものであり、可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態においても、可動電極側面に形成された複数の凸部と凹部と、可動電極駆動用固定電極に形成された凹部と凸部は垂直方向に重なった部分を有する構造とすることで、可動電極と可動電極駆動用固定電極間に電圧を印加し、可動電極を信号伝達用固定電極から離す場合、効率よく静電引力を伝えることが可能となる。

【0030】

また、本発明に係るスイッチは、可動電極側面の複数の凸部のインピーダンスが、少なくとも複数の凸部以外の可動電極の部分からなるインピーダンスより高いものであり、可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態で、信号伝達用固定電極から可動電極へと信号が流れる場合、信号の一部は可動電極の凸部と可動電極駆動用固定電極の凹部からなるキャパシタンス容量を通して信号が漏れてしまう可能性がある。この漏れる信号の量は信号の周波数とキャパシタンスから計算されるインピーダンスと、可動電極側面の凸部の形状により規定されるインピーダンスの合計からなるインピーダンスにより規定される。一方、可動電極側面の凸部の形状から規定されるインピーダンスは数GHzの高周波帯では凸部の幅が狭いほど一般的にインピーダンスが高いことが知られている。従って、可動電極側面の凸部の幅を狭くし、可動電極側面の凸部におけるインピーダンスを可動電極の凸部以外の部分からなるインピーダンスより高くすることで、可動電極に信号が流れる場合、可動電極の凸部と可動電極駆動用固定電極の凹部からなるキャパシタンス容量を通して信号が漏れてしまい、伝達損失が発生することを少なくすることが可能となる。

【0031】

また、本発明に係るスイッチは、可動電極が信号伝達用固定電極と接触している状態から、所定の空間を介して信号伝達用固定電極と離れた位置に移動する場合、可動電極駆動用固定電極と可動電極間に電圧を印加するのは可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態から、可動電極側面に形成された凸部と可動電極駆動用固定電極に形成した凹部とで形成される所定の空間と可動電極駆動用固定電極の凸部と可動電極側面の凹部とで形成される所定の空間の中でもっとも短い距離の移動に要する時間以下とするものであり、スイッチの接続、切断動作において、可動電極が絶縁保持用酸化膜を介して信号伝達用固定電極と接触している状態から離れた位置に移動する場合、可動電極駆動用固定電極と可動電極間に電圧を印加し、静電力を働かせるのは、可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態から可動電極側面に形成された凸部と可動電極駆動用固定電極に形成した凹部および可動電極駆動用固定電極の凸部と可動電極側面の凹部とにより形成される空間の中で最も

距離の短い部分の長さだけ移動するのに要する時間以下とすることで、仮に可動電極が可動電極長辺方向に移動した場合においても、可動電極と可動電極駆動用固定電極が接触することを防ぐことが可能となる。

【0032】

また、本発明に係るスイッチは、可動電極が信号伝達用固定電極と接触している状態から、所定の空間を介して信号伝達用固定電極と離れた位置に移動する場合、可動電極駆動用固定電極と可動電極間に電圧を印加する時間は可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態から、所定の空間幅になり、さらに次に可動電極が信号伝達用固定電極と接触する必要となる時間であるものであり、スイッチの動作において、可動電極が絶縁保持用酸化膜を介して信号伝達用固定電極と接触している状態から、所定の空間を介して信号伝達用固定電極と離れた位置に移動する場合、可動電極駆動用固定電極と可動電極間に電圧を印加するのは可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態から、所定の空間幅になり、さらに次に可動電極が信号伝達用固定電極と接触する必要となるまでの時間とすることで、可動電極と信号伝達用固定電極間に電圧を印加していないにも関わらず、信号伝達用固定電極を通過する信号により可動電極が信号伝達用固定電極と接触することを防ぐことが可能となる。

【0033】

また、本発明に係るスイッチは、可動電極と信号伝達用固定電極が接触していない状態で、温度が変化した場合、可動電極と可動電極駆動用固定電極間に静電力を印加するもので、温度変化により内部応力が変化して可動電極が撓み、可動電極と信号伝達用電極間の距離が変化して所望のアイソレーションがとれなくなるため、可動電極と信号伝達用固定電極が接触していない状態においては、常に可動電極と可動電極駆動用固定電極間に静電力を印加しておくことで、可動電極の位置を温度変化によらず常に一定の位置に固定でき、温度補償が可能となる。

【0034】

本発明に係るスイッチの製造方法は、基板上にシリコン酸化膜を形成するステップと、前記シリコン酸化膜上に金属を形成するステップと、金属上のシリコン酸化膜をドライエッチングするステップと、金属をエッチングして電極間絶縁保持用シリコン酸化膜を形成するステップと、可動電極と可動電極の側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部は同一犠牲層上に形成するステップを有することを特徴としており、信号の伝達効率および絶縁性を確保しかつ信号の接続切断の高速な動作を行うことができるスイッチを簡単な工程でスイッチを製造することができる。また、可動電極だけでなく可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部および可動電極駆動用固定電極の所定の部分に関しても同一の犠牲層上に形成することで、可動電極および可動電極側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部の高さを、信号伝達用固定電極からの正確に制御することを可能とする。

【0035】

また、本発明に係るスイッチの製造方法は、さらに、可動電極および可動電極駆動用固定電極を配置する場所にレジストマスクを形成するステップと、可動電極および可動電極駆動用固定電極を形成するステップと、レジストマスクおよび犠牲層を除去して容量低減用空間を形成するステップとを有し、可動電極および可動電極駆動用固定電極を簡単に製造することができる。

【0036】

また、本発明に係るスイッチの製造方法は、さらに、犠牲層をポリイミドで形成するステップと、全面にAL膜をスパッタリング法により形成するステップを有するものであり、可動電極および可動電極駆動用固定電極を一層簡単に製造することができる。

【0037】

また、本発明に係るスイッチの製造方法は、可動電極駆動用固定電極の下部の所定の位置に段差緩和用のパターンを形成するものであり、段差緩和用のパターンを形成することで段差緩和用のパターンを形成することで、可動電極駆動用固定電極の一部に極端に膜厚

の薄い部分が形成されることを防ぐことが可能となり、可動電極駆動用固定電極の強度不足および断線を防ぐことを可能とする。

【0038】

また、本発明に係るスイッチの製造方法は、信号伝達用固定電極の側面の所定の位置に段差緩和用のパターンを形成するものであり、段差緩和用パターンの形成位置に応じた効果が得られ、信号伝達用固定電極の短辺方向側面に段差緩和用のパターンを形成した場合、可動電極の強度不足、断線を防ぐことが可能となる。さらに、可動電極と信号伝達用固定電極間の空間の距離の正確な制御も可能となる。また、信号伝達用固定電極の長辺方向側面に段差緩和用のパターンを形成した場合、可動電極の側面の凸部と凹部の形状および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部の形状がより微な大きさのパターンまで容易に形成することを可能とする。

【0039】

また、本発明に係るスイッチの製造方法は、可動電極と可動電極駆動用固定電極を、同一工程で形成した膜をエッチングすることで可動電極および可動電極駆動用固定電極を形成するものであり、可動電極と可動電極駆動用固定電極の正確な膜厚制御が可能である。さらに、可動電極と可動電極駆動用固定電極を同一のマスクよりエッチング形成することで可動電極側面の凸部と両側に位置する可動電極駆動用固定電極の凹部間の所定空間のずれを最小に押さえることが可能となる。

【0040】

また、本発明に係るスイッチの製造方法は、可動電極と可動電極駆動用固定電極を同一のメッキ工程で可動電極および可動電極駆動用固定電極を形成するものであり、同一工程で可動電極および可動電極駆動用固定電極を形成することで、膜厚の制御を容易に行うことが可能となる。

【0041】

また、本発明に係るスイッチの製造方法は、可動電極と可動電極側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部および可動電極駆動用固定電極の所定の部分はレジストからなる犠牲層上に形成するものであり、犠牲層にレジストを用いることで、犠牲層除去工程を酸素プラズマによる犠牲層除去が可能となる。

【0042】

また、本発明に係るスイッチの製造方法は、可動電極と可動電極側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部および可動電極駆動用固定電極の所定の部分はポリイミドからなる犠牲層上に形成するものであり、犠牲層にポリイミドを用いることで、酸素プラズマによる犠牲層除去が可能となり、犠牲層除去後の工程で液体中の処理を行う必要がなくなり可動電極と信号伝達用固定電極の吸着を防ぐことが可能となる。さらに、犠牲層にポリイミドを用いた場合、レジストは通常150℃以下の熱処理にしか耐えることができないのに対し、300℃程度の熱処理に耐えることができるため、可動電極ならび可動電極駆動用固定電極の形成時の工程処理温度を高くすることが可能となり、工程の自由度を大きく取ることが可能とする。

【0043】

また、本発明に係るスイッチの製造方法は、基板上にシリコン酸化膜を形成するステップと、前記シリコン酸化膜上に金属を形成するステップと、金属上のシリコン酸化膜をドライエッチングするステップと、金属をエッチングして電極間絶縁保持用シリコン酸化膜を形成するステップと、信号伝達用固定電極の側面の所定の位置に段差緩和用パターンを形成するステップを有しており、信号の伝達効率および絶縁性を確保しかつ信号の接続切断の高速な動作を行うことができるスイッチを簡単な工程でスイッチを製造することができる。

【0044】

また、本発明に係るスイッチの製造方法は、さらに、犠牲層を形成するステップと、全面にAL膜をスパッタリング法により形成するステップと、可動電極を形成してから犠牲層および段差緩和用パターンを除去して容量低減用空間を形成するステップとを有するも

のであり、可動電極および信号伝達用固定電極を簡単に製造することができる。

【0045】

本発明に係る無線回路は、信号を増幅する増幅器と、アンテナと、接地側と接続する対接地接続スイッチとしての可動電極と、増幅器とアンテナを接続する直列接続スイッチとして、可動電極と所定の空間を介して配された信号伝達用固定電極とを備え、直列接続スイッチと対接地接続スイッチを交互に接続、切断することにより信号の入出力制御を行うものであり、信号の伝達経路を信号伝達用固定電極側から可動電極側へと伝達することで、可動電極が信号伝達用固定電極に接触した時、可動電極と可動電極駆動用固定電極間の寄生容量により信号の損失が発生した場合においても損失を最小限に抑えるものである。

【発明の効果】

【0046】

本発明によれば、可動電極の下方向への駆動は可動電極の下部に位置する信号伝達用固定電極と可動電極の静電力により、一方、可動電極の上方向への駆動は可動電極の長辺方向の両側面に位置する可動電極駆動用固定電極との静電引力により駆動することで、信号の伝達効率および絶縁性を確保しかつ信号の接続切断の高速な動作を行うことができるという効果を有する。さらに、可動電極の側面に可動電極駆動用固定電極を配置することが可能となり、複雑な工程の追加が不要であるという有利な効果が得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0047】

(実施の形態1)

以下本発明の実施の形態1について図面を用いて説明する。

【0048】

図1は本発明の実施の形態1の場合のスイッチの斜視図である。高抵抗シリコン基板101上のシリコン酸化膜102を介して、可動電極103、可動電極駆動用固定電極104、および信号伝達用固定電極105から構成される。可動電極側面は複数の可動電極側面凸部107を有している。本実施の形態1においては便宜上複数の凸部の形状は全て同じの形状としており、また凸部の配置は周期的に配置している。その結果、1つの可動電極側面凸部と隣接する可動電極側面凸部の間には凹部が形成され、各凹部も周期的に配置されている。一方、可動電極駆動用固定電極凸部108は可動電極側面の凸部と凹部に対応するように配置され、所定の空間を介して可動電極側面の凹部に取り囲まれるように配置されるため、本実施の形態1においては可動電極駆動用固定電極凸部も周期的に配置される構成となる。さらに、可動電極駆動用固定電極の凹部に関しても、可動電極側面の凹部の場合と同様、隣接する凸部間で形成されるため、周期的に配置される。

【0049】

本実施の形態1においては、便宜上、可動電極側面凸部107および可動電極駆動用固定電極凸部の凸部の長さは共に同じ寸法としている。可動電極側面凸部は可動電極駆動用固定電極凹部により可動電極凸部の長さよりも短い距離からなる所定の空間を介して取り囲まれており、また可動電極駆動用固定電極の凸部は可動電極側面の凹部により可動電極駆動用固定電極の凸部の長さよりも短い距離からなる所定の空間を介して取り囲まれているため、図1に示すごとく可動電極側面凸部の一部は可動電極駆動用固定電極凹部の中に、可動電極駆動用固定電極凸部の一部は可動電極凹部の中に入り込むような形に配置される。

【0050】

図2は図1のA-A'断面で、スイッチにおいて信号が信号伝達用固定電極から可動電極への接続がなされていない状態を示した断面図である。高抵抗シリコン基板101上のシリコン酸化膜102を介して信号伝達用固定電極105を配置する。信号伝達用固定電極上には電極間絶縁保持用シリコン酸化膜110が形成されており、さらに容量低減用空間209を介して可動電極103が配置されている。可動電極103は両端の可動電極固定領域106において基板上に固定されている。

【0051】

図3は図1のB-B'断面で、スイッチにおいて信号が信号伝達用固定電極から可動電極への接続がなされていない状態を示した断面図である。高抵抗シリコン基板101上のシリコン酸化膜102を介して、可動電極駆動用固定電極104、信号伝達用固定電極105を配置する。信号伝達用固定電極105上には電極間絶縁保持用シリコン酸化膜210が形成されており、さらに容量低減用空間209を介して可動電極103が配置されている。本実施の形態1においては、可動電極駆動用固定電極104の凸部と容量低減用空間209を介した位置での可動電極103の基板表面からの高さが同じになるように設計している。

【0052】

図4は図1のA-A'断面で、スイッチにおいて信号が信号伝達用固定電極から可動電極へ接続されている状態を示した断面図である。高抵抗シリコン基板101上のシリコン酸化膜102を介して配置された信号伝達用固定電極105と、可動電極103間に電圧を印加することで、静電力により、可動電極103は信号伝達用固定電極105上の電極間絶縁保持用シリコン酸化膜210に接触し、容量低減用空間209は可動電極固定領域近傍に一部残るだけとなる。信号伝達用固定電極105上の電極間絶縁保持用シリコン酸化膜210は、信号伝達用固定電極105と可動電極103間に電圧を印加し、可動電極103が信号伝達用固定電極105に接触した場合においても、信号伝達用固定電極105と可動電極103が直接接触することで電位差が保てなくなり可動電極103が離れてしまうことを防ぐことを目的とする。

【0053】

信号伝達用固定電極105と可動電極103により形成される容量は(式1)に従い、電極間絶縁保持用シリコン酸化膜210からなるコンデンサ容量(式2)と容量低減用空間からなるコンデンサ容量(式3)の直列接続容量となる。

【0054】

【数1】

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{OX}} + \frac{1}{C_{Air}} \quad (1)$$

【0055】

【数2】

$$C_{ox} = \epsilon_s \epsilon_0 \frac{S}{t} \quad (2)$$

【0056】

【数3】

$$C_{Air} = \epsilon_0 \frac{S}{d} \quad (3)$$

【0057】

(式2)および(式3)において ϵ_s はシリコン酸化膜の比誘電率、 ϵ_0 は真空中の誘電率 S は信号伝達用固定電極105と可動電極103により形成される電極の面積、 t は電極間絶縁保持用シリコン酸化膜210の厚さ、 d は容量低減用空間209の長さである。また、 t は一般的に d の1/10以下の値である。さらに、(式3)は正確には真空中のコンデンサ容量であるが大気中においてもほぼ同等である。可動電極103が信号伝達

用固定電極 105 に接触した場合、容量低減用空間からなるコンデンサ容量は無視できる値となり、電極間絶縁保持用シリコン酸化膜 210 からなるコンデンサ容量のみと考える問題は無い。一方、可動電極 103 が信号伝達用固定電極 105 から所定の容量低減用空間を保った位置にある場合、コンデンサ容量は容量低減用空間からなるコンデンサ容量が支配的となる。

【0058】

図 5 は図 1 の B-B' 断面でスイッチにおいて信号が信号伝達用固定電極から可動電極へ接続されている状態を示した断面図である。

【0059】

高抵抗シリコン基板 101 上のシリコン酸化膜 102 を介して配置された信号伝達用固定電極 105 と、可動電極 103 間に電圧を印加することで、静電力により、可動電極 103 は信号伝達用固定電極 105 上の電極間絶縁保持用シリコン酸化膜 210 に接触し、可動電極駆動用固定電極 105 と可動電極 103 間には所定の容量低減用空間分の距離が増加する。

【0060】

信号伝達用固定電極 105 から可動電極 103 へ接続された状態から切断状態への動作は、信号伝達用固定電極 105 と可動電極 103 間に印加した電圧を 0 とし、可動電極 103 と可動電極駆動用固定電極 105 間に電圧を印加することで、可動電極駆動用固定電極 105 と可動電極 103 間に生じた所定の容量低減用空間分の距離を 0 とするように静電力が働く。その結果、可動電極 103 のたわみが戻ろうとするバネの力だけでなく、静電力の両方の力により可動電極 103 を動かすことで、短時間で信号伝達用固定電極 105 から離れることが可能となり切断動作特性を向上できるという効果が得られる。

【0061】

例えば、可動電極 103 の幅を $5\mu\text{m}$ 、長さを $400\mu\text{m}$ 、厚みを $0.7\mu\text{m}$ とし、可動電極 103 と信号伝達用固定電極 105 とのギャップを $0.6\mu\text{m}$ とした場合の応答特性を図 20 に示す。図 20 には、可動電極 103 と信号伝達用固定電極 105 が接触した状態から、時刻 0 で静電力を切り、信号伝達用固定電極 105 が元の位置の復元する様子を示している。参考のために同じ可動電極 103 の形状で、櫛歯がない場合も併せて示す。

【0062】

また図 21 に櫛歯の形状を示す拡大図を示す。櫛歯の形状は、櫛の幅 a を $1\mu\text{m}$ 、櫛の高さ h を $5\mu\text{m}$ 、櫛と櫛の間隔を $1\mu\text{m}$ としている。櫛歯構造がない場合は、可動電極 103 は、自身が有するばね力のみでもとの位置に復元するため、必然的に応答時間が遅くなる特性であるのに対して、櫛歯構造では、可動電極 103 と可動電極駆動用固定電極 105 間に電圧を印加すれば、可動電極 103 に元の位置に復元する静電力が重畳されるため、より高速な応答が可能となる。

【0063】

なお、本実施の形態 1 においては高抵抗シリコン基板 101 上にシリコン酸化膜 102 を介してスイッチの各部品を配置したが、その他の絶縁材料例えばシリコン窒化膜を用いてもよい。また、高抵抗シリコン基板を用いたが、シリコン以外の材料例えばガリウム砒素基板等化合物半導体基板においても、さらに石英、アルミナ等絶縁性基板を用いた場合においても同様の効果が得られる。さらに、基板の抵抗が十分に高く、基板を通して可動電極、信号伝達用固定電極、可動電極駆動用固定電極間の電氣的に影響が及ばない場合、シリコン酸化膜もしくは同等の絶縁材料の配置は省略することが可能である。

【0064】

また、実施の形態 1 において可動電極側面に形成された凸部および凹部と、可動電極側面の凸部と凹部に対応した、可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部は図 1 では矩形にしているが、角の部分は曲率を有する形状でも同様の効果が得られる。

(実施の形態 2)

以下本発明の実施の形態 2 について式と図面を用いて説明する。

【0065】

凸部と凹部を組み合わせた形の電極間に働く力は、例えばアイトリプリー、マイクロ・エレクトロ・メカニカル・システムズ・コンファレンス2002年予稿集532ページ(MEMS 2002 Tech. Dig., p532, 2002)が知られており、変位 z の場合、 z 方向に働く力は(式4)で与えられる。

【0066】

【数4】

$$F_z = \frac{\partial \left(\frac{CV^2}{2} \right)}{\partial z} \quad (4)$$

【0067】

(式4)において、 V は電極への印加電圧、 C は電極間で形成されるキャパシタンス容量、 z は変位で与えられる。(式4)より、 z 方向の変位が変化した場合においても電極間で形成される容量が変化しない場合は静電力が発生しないことがわかる。従って図6に示すごとく例えば可動電極駆動用固定電極601の膜厚が可動電極602より厚い場合、可動電極駆動用固定電極601と、可動電極602により形成されるキャパシタンス形成領域603は、可動電極602が z 方向に多少動いても面積が変化することがないため、 z 方向の力は発生せず、可動電極駆動用固定電極601の膜厚の範囲内では静電力による駆動ができない。

【0068】

可動電極の膜厚を t_m 、可動電極駆動用固定電極の膜厚を t_d 、両者の関係を $t_d > t_m$ とした場合、 $l_u = t_d - t_m$ なる制御不可能位置 l_u が存在する。

【0069】

一方、可動電極駆動用固定電極601の膜厚と可動電極602の膜厚を同一にした場合、制御不可能位置は存在せず、可動電極駆動用固定電極601と可動電極602間に電圧を印加し、静電力を加えることで可動電極602は常に一定の位置に制御することが可能となる。

(実施の形態3)

以下、本発明の実施の形態3について図面を用いて説明する。図7(a)に示すごとく、設計上、可動電極702側面の凸部と両側に位置する可動電極駆動用固定電極701の凹部間の所定空間は、距離が d の均等な所定の空間703を介している。

【0070】

しかしながら、可動電極702と、可動電極駆動用固定電極701を異なるマスクで形成した場合、可動電極形成用のマスクと可動電極駆動用固定電極形成用のマスクとのマスク合わせずれが発生した場合は図7(b)のように、可動電極702側面の凸部と可動電極駆動用固定電極701の凹部の片側の空間は距離が近づく $d - e$ となり距離が小さい所定空間713を形成する。また、反対側に位置する凹部との距離は $d + e$ と大きくなって距離が大きい所定空間714を形成する。つまり、図7(b)は、マスク合わせが図の上方向に距離 e だけ発生した場合の可動電極側面の凸部と可動電極駆動用固定電極701の凹部の関係を示している。

【0071】

このようなマスクずれが発生した場合、可動電極702と可動電極駆動用固定電極701間に電圧を印加し、静電力を発生させた場合、図の上下方向に静電引力が働くことが知られており、静電引力の大きさは例えばアイトリプリー、マイクロ・エレクトロ・メカニカル・システムズ・コンファレンス1996年予稿集216ページ(MEMS 1996 Tech. Dig., p.216, 1996)に述べられているように、(式5)に示す大きさの可動電極712へ

の引力 712、可動電極駆動用固定電極 701 への引力 715 が働いてしまう。

【0072】

【数 5】

$$F(x) = -\frac{V^2}{2} \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{n}{2} h \epsilon_0 \left\{ \frac{1}{(d-e-x)^2} - \frac{1}{(d+e+x)^2} \right\} V^2 \quad (5)$$

【0073】

この静電力が発生し、可動電極 702 のバネ定数から求められる力を越えてしまった場合、可動電極 702 と可動電極駆動用固定電極 711 間で接触し、可動電極 702 の動きを阻害するだけではなく破壊を起こすという問題が発生するが、本実施の形態を適用し、同一マスクで可動電極 702 と可動電極駆動用固定電極 701 を形成することでマスク合わせずれを 0 にする事が可能となる。

(実施の形態 4)

以下本発明の実施の形態 4 について図面を用いて具体的に説明する。

【0074】

図 8 は本発明のスイッチを製造する場合の工程断面図である。図 8 (a) において、高抵抗シリコン基板 801 上を熱酸化して、高抵抗シリコン基板 801 上にシリコン酸化膜 802 を形成する。その後、シリコン酸化膜 802 上に金属を形成し、さらにシリコン酸化膜を形成する。しかる後フォトリソグラフィにより、所定の領域のみレジストが残るようにフォトレジストパターンを形成しフォトレジストをマスクとして金属上のシリコン酸化膜をドライエッチングし、続いて金属をエッチングすることで、信号伝達用固定電極 803 および電極間絶縁保持用シリコン酸化膜 804 が形成される。さらにレジストマスクを除去後、可動電極、可動電極側面の凸部ならび凹部、可動電極駆動用固定電極の凹部ならび凸部、可動電極駆動用固定電極の凹部ならび凸部に隣接する一部が形成される領域に犠牲層が残るように犠牲層 805 を堆積、パターンニングする。その後図 8 (b) に示すごとく全面に金属 806 を形成した後、可動電極ならび可動電極駆動用固定電極を配置する所定の場所にレジストマスク 807 を形成する。

【0075】

しかる後、図 8 (c) のようにレジストマスク 807 をマスクとして金属をエッチングし、可動電極 808 ならび可動電極駆動用固定電極 809 を形成する。さらにレジストマスク 807 を除去後、犠牲層 805 を除去することで容量低減用空間 810 が形成される。

【0076】

なお、本実施の形態において信号伝達用固定電極、可動電極および可動電極駆動用固定電極の材料として金属を用いたが、高濃度不純物導入された半導体、導電性高分子材料などを用いても良い。

【0077】

また、高抵抗シリコン基板 801 上に絶縁膜としてシリコン酸化膜 802 を形成したが、実施の形態 1 と同様に他の絶縁材料でもよい。同様にガリウム砒素基板等他の基板材料の利用も可能であり、さらに基板の抵抗が十分高い場合シリコン酸化膜を除去して良いことは言うまでもない。

(実施の形態 5)

以下本発明の実施の形態 5 について図面を用いて説明する。

【0078】

図 9 は段差緩和用のパターンを形成した場合のスイッチの製造工程断面図を示すものである。図 9 (a) は実施の形態 4 の場合と同様の工程で高抵抗シリコン基板上にシリコン酸化膜 902、信号伝達用固定電極 903 および電極間絶縁保持用シリコン酸化膜 904 を形成したものである。次にフォトレジストをスピコート、露光、現像し、ホットプレ

ートでベークすることにより図9 (b) に示すごとく、段差緩和用パターン905を所定の位置に形成する。段差緩和用パターン905の配置の位置は、以降の工程で形成される可動電極駆動用固定電極が形成され、かつ犠牲層により形成される段差を分割できるような位置と膜厚で形成するものとする。

【0079】

引き続き図9 (c) に示すごとく、ポリイミドからなる犠牲層906を形成する。犠牲層端面907の周囲には段差緩和用パターン905があるため、段差緩和用パターン905がない場合、犠牲層表面からシリコン酸化膜902表面までの距離の段差が犠牲層端面に形成されるのに対して、段差緩和用パターン905により犠牲層表面からの段差は犠牲層表面から段差緩和用パターン表面までの段差と、段差緩和用パターン表面からシリコン酸化膜表面までの段差に2分割され、一カ所で大きな段差が形成されることを防ぐことが可能となる。

【0080】

しかる後に、図9 (d) 示すごとく、全面にALスパッタ堆積膜908をスパッタリング法により形成する。さらに、図9 (e) に示すごとく、実施の形態4の場合と同様の工程で、可動電極909ならび可動電極駆動用固定電極910を配置する所定の場所にレジストマスクを形成し、前記レジストマスクをマスクとしてALをエッチングし、可動電極1109ならび可動電極駆動用固定電極1110を形成する。さらにレジストマスクと犠牲層906および段差緩和用パターン905を除去することで容量低減用空9111が形成される。容量低減用空間のための犠牲層の段差は、犠牲層と段差緩和用パターンの両方で緩和されるため、可動電極駆動用固定電極910において極端に膜が薄い強度不足領域は形成されない。

【0081】

酸素プラズマ処理を用いた工程では、溶媒中のウェットエッチングとは異なり、減圧雰囲気下で処理することが可能である。液体中の処理における吸着に関しては例えばジャーナル・オブ・バキューム・サイエンス・テクノロジー、B15巻1号1ページ、1997年(J. Vac. Sci. Technol., Vol. B, p. 1, 1997)に記されており、表面張力等の影響で乾燥工程中に意図しない部分が吸着することが知られている。従って、レジストからなる犠牲層を用いることで犠牲層除去後の工程に液体中の処理を行う必要がなくなり可動電極と信号伝達用固定電極の吸着を防ぐことを可能とする。

【0082】

なお、本実施の形態において段差緩和用パターン905はフォトリジストを用いたが、ポリイミドを用いても問題ない。さらに、本実施の形態において犠牲層除去工程により除去される材料としたが、犠牲層除去工程で除去されない材料の場合、可動電極駆動用工程電極の強度はより一層強くなる。

【0083】

図10 (a) は段差緩和用のパターンを形成しなかった場合のスイッチの製造工程断面図を示しており、実施の形態4の場合と同様の工程で高抵抗シリコン基板1001上にシリコン酸化膜1002、信号伝達用固定電極1003および電極間絶縁保持用シリコン酸化膜1004を形成する。

【0084】

電極間絶縁保持用シリコン酸化膜1004までを形成後、ポリイミドからなる犠牲層1005を形成している。本実施の形態では実施の形態4の場合と異なり犠牲層1005が容易除去にできるように犠牲層1005の幅を短く設計している。しかる後、図10 (b) に示すごとく全面にALスパッタ堆積膜1006をスパッタリング法により形成する。スパッタリング法による金属膜の成膜では、比較的低温のプロセスにおいても安定した膜の形成が可能であるが、段差部側面には堆積しにくいという特性を有している。蒸着法も同様、段差部側面には堆積しにくい。一方、減圧雰囲気下のCVD法を用いた場合、段差部側面にも成膜することが可能であるがプロセス温度が高く利用範囲が限られる。従って、ALスパッタ堆積膜1006には段差部分に膜厚が薄い薄膜領域1007が形成される

。

【0085】

しかる後、図10(c)に示すごとく、実施の形態4の場合と同様の工程で、可動電極ならび可動電極駆動用固定電極を配置する所定の場所にレジストマスクを形成し、前記レジストマスクをマスクとしてALをエッチングし、可動電極1008ならび可動電極駆動用固定電極1009を形成する。さらにレジストマスクと犠牲層を除去することで容量低減用空間1010が形成される。一方、犠牲層の段差部分の薄膜領域はそのまま可動電極駆動用固定電極1009の強度不足領域1011となる。

(実施の形態6)

以下本発明の実施の形態6について図面を用いて具体的に説明する。

【0086】

図11は段差緩和用のパターンを信号伝達用固定電極の短辺方向側面の位置に形成した場合のスイッチの製造工程断面図を示すものであり、図1におけるA-A'断面図を示したものである。図11(a)は実施の形態4の場合と同様の工程で高抵抗シリコン基板101上にシリコン酸化膜102、信号伝達用固定電極103および電極間絶縁保持用シリコン酸化膜210を形成する。

【0087】

次に図11(b)に示すごとく、信号伝達用固定電極の短辺方向側面の位置に感光性のポリイミドをスピンコート、露光、現像し、ホットプレートでベークすることで段差緩和用パターン1105を形成する。段差緩和用パターン1105の配置の位置は、以降の工程で形成される可動電極が形成され、かつ犠牲層により形成される段差を分割できるような位置と膜厚で形成するものとする。

【0088】

引き続き図11(c)に示すごとく、ポリイミドからなる犠牲層1106を形成する。犠牲層端面1107下には前記段差緩和用パターンがあるため、犠牲層表面からの段差は複数の段差に分割され、一カ所で大きな段差が形成されることを防ぐことが可能となる。しかる後に、図11(d)に示すごとく、全面にALスパッタ堆積膜1108をスパッタリング法により形成するが、実施の形態5の場合と同様、比較的低温で成膜可能であるが、段差部側面には堆積しにくいという特性を有している。蒸着法も同様の特徴を有する。

【0089】

さらに、図11(e)に示すごとく、実施の形態4の場合と同様の工程で、可動電極を配置する所定の場所にレジストマスクを形成し、前記レジストマスクをマスクとしてALをエッチングし、可動電極103を形成する。さらにレジストマスクと犠牲層1106および段差緩和用パターン1105を除去することで容量低減用空間1110が形成される。容量低減用空間1110のための犠牲層の段差は、犠牲層と段差緩和用パターンの両方で緩和されるため、可動電極103において極端に膜が薄い強度不足領域は形成されず、安定した動作を可能にする。なお本実施の形態では段差緩和用パターンをポリイミドにより形成したが、実施の形態5の場合と同様、犠牲層除去工程後に残っていても問題はない。

。

【0090】

図12は段差緩和用のパターンを信号伝達用固定電極の長辺方向側面の位置に形成した場合のスイッチの製造工程断面図を示すものであり、図1におけるB-B'断面図を示したものである。

【0091】

図12(a)は実施の形態4の場合と同様の工程で高抵抗シリコン基板101上にシリコン酸化膜102、信号伝達用固定電極103および電極間絶縁保持用シリコン酸化膜210を形成する。

【0092】

次に図12(b)に示すごとく、フォトリソをスピンコート、露光、現像し、ホットプレートでベークすることで段差緩和用パターン1105を信号伝達用固定電極の長辺

方向側面の位置に形成する。段差緩和用パターン 1105 は、以降の工程で形成される可動電極側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部が形成される部分の下部に相当する位置に、信号伝達用固定電極の膜厚と電極間絶縁保持用シリコン酸化膜の膜厚を足し合わせた膜厚、言い換えると段差緩和用パターンと電極間絶縁保持用シリコン酸化膜の表面の基板表面からの高さが同じになる膜厚で形成する。

【0093】

引き続き図 12 (c) に示すごとく、ポリイミドからなる犠牲層 1106 を形成する。信号伝達用固定電極の膜厚と電極間絶縁保持用シリコン酸化膜の膜厚を足し合わせた膜厚で段差緩和用パターンを形成したことにより、犠牲層の表面は信号伝達用固定電極から段差緩和用パターンのほぼ端面にわたり基板表面からの高さが一定となる。

【0094】

しかる後に、図 12 (d) に示すごとく、全面に AL スパッタ堆積膜 1108 をスパッタリング法により形成する。さらに、実施の形態 4 の場合と同様の工程で、可動電極ならび可動電極駆動用固定電極を配置する所定の場所にフォトリソグラフィからなる可動電極形成用マスク 1201 および可動電極駆動用固定電極形成用マスク 1202 を形成する。可動電極駆動用固定電極形成用マスク 1202 の一部は、段差緩和用パターン 1105 の上部に位置し、可動電極駆動用固定電極の凸部および凹部の形成領域 1203 となっており、段差緩和用パターン 1105 により可動電極マスク表面と同一の高さとなっている。

【0095】

図 12 (d) においては可動電極側面に形成された凸部と凹部は記されていないが、可動電極駆動用固定電極により形成される凸部および凹部と同じ位置である。その結果、可動電極駆動用固定電極の凸部および凹部および可動電極側面に形成される凸部と凹部の形成領域は同じ高さとなる。その結果、露光機の焦点深度の問題で、異なる高さの部分では形成できないような微細なパターンの形成も同じ高さの部分へのパターン形成となり、より微細なパターン形成が可能となる。

【0096】

引き続き、図 12 (e) に示すごとく、レジストマスクをマスクとして AL をエッチングし、可動電極 103 ならび可動電極駆動用固定電極 104 を形成する。しかる後レジストマスクと犠牲層 1106 および段差緩和用パターン 1105 を除去することで容量低減用空間 1110 が形成される。

【0097】

このように、本実施の形態を適用することで、可動電極側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部に関して、より微細なパターンの形成が可能となる。

(実施の形態 7)

以下本発明の実施の形態 7 について図面を用いて具体的に説明する。

【0098】

図 13 は犠牲層除去用の穴を可動電極に形成した場合のスイッチを示す斜視図である。可動電極 1503 上に複数の犠牲層除去用穴 1508 を形成している。前記犠牲層除去用穴 1508 がない場合、犠牲層除去は可動電極側面凸部および凹部 1507 と可動電極駆動用固定電極 1504 の凹部と凸部 1506 からなる空間ならび、可動電極駆動用固定電極両端部 1509 の部分からのみ除去可能である。実際のスイッチでは低電圧で高速に接続・切断の動作を行うためには、犠牲層除去は可動電極側面の凸部および凹部 1507 と可動電極駆動用固定電極 1504 の凹部と凸部 1506 からなる空間は $1\mu\text{m}$ 以下、可動電極駆動用固定電極両端部 1509 の犠牲層の空間に関しても $1\mu\text{m}$ 以下に設計する必要がある。さらに可動電極 1503 の長さは約 $400\mu\text{m}$ 程度となる。このような狭い領域の犠牲層除去を、可動電極側面の凸部および凹部と可動電極駆動用固定電極 1504 の凹部と凸部 1506 からなる空間および可動電極駆動用固定電極両端部 1509 からのみ行う場合、犠牲層除去工程の時間がかかるだけでなく、完全に犠牲層が除去できないという問題が発生するが、可動電極 1503 上に犠牲層除去用穴 1508 を形成することで、犠牲層除去が容易にできるようになる。とりわけ本実施の形態においては可動電極側面に可

動電極駆動用固定電極 1504 を配置しているため、可動電極側面には犠牲層除去の障害となるものが何もない従来例であるアイトリプルイー、2001 年インターナショナル・エレクトロン・デバイス・ミーティング予稿集 921 ページ記載の犠牲層除去工程とは異なり、犠牲層除去用穴 1508 を設けない場合、より犠牲層除去が困難である。また、前記犠牲層除去用穴 1508 は $1\ \mu\text{m}$ 程度でも十分効果がある。この穴の寸法は可動電極 1503 に流す信号に影響を及ぼさない大きさに設計するのが望ましい。

【0099】

さらに、犠牲層除去用穴 1508 は犠牲層除去後も本スイッチを大気中で動作させる場合、可動電極 1503 が信号伝達用固定電極へ接触する課程においては、可動電極下の空間内の気体の逃げ道となり、また、接触している可動電極が信号伝達用固定電極から離れる場合には気体の入り口となり、気体の粘性により可動電極の動きが阻害されることを防ぐ事が可能となる。

(実施の形態 8)

以下本発明の実施の形態 8 について図面を用いて具体的に説明する。

【0100】

図 14 は犠牲層除去用の穴を可動電極駆動用固定電極に形成した場合のスイッチを示す工程断面図である。本発明の実施の形態 4 と同様の工程で高抵抗シリコン基板 1601 上のシリコン酸化膜 1602、信号伝達用固定電極 1603、電極間絶縁保持用シリコン酸化膜 1604、犠牲層 1605 を形成した後、図 14 (a) に示すごとく、基板全面に金属 1606 を形成した後、可動電極ならび可動電極駆動用固定電極を配置する所定の場所にレジストマスク 1607 を形成する。レジストマスク 1607 には可動電極駆動用固定電極が形成される所定の領域に犠牲層除去用穴形成のための犠牲層除去穴形成パターン 1608 を設けている。しかる後、前記レジストマスク 1607 をマスクとして金属をエッチングし、可動電極 1609 ならび可動電極駆動用固定電極 1610 を形成する。図 14 (b) のように、さらにレジストマスクを除去後、犠牲層を除去することで容量低減用空間 1611 が形成されるが、犠牲層は犠牲層除去穴 1612 からも除去されるため、犠牲層が残ることなく容易に除去可能となる。

(実施の形態 9)

以下本発明の実施の形態 9 について図面を用いて具体的に説明する。

【0101】

図 15 は可動電極 1702 が信号伝達用固定電極 1703 に絶縁保持用酸化膜 1704 を介して接触した場合の、可動電極 1702 と可動電極駆動用固定電極 1701 の位置を模式的に示した図である。可動電極 1702 は信号伝達用固定電極 1703 に接触した状態においても z 方向の垂直方向に重なった部分を有することで平行平板のキャパシタンス形成領域 1705 を形成している。平行平板のキャパシタンス形成領域 1705 において、可動電極駆動用固定電極 1701 と可動電極間 1702 に電圧を印加した場合の静電力は、実施の形態 2 の場合と同様に (式 4) により求められる。しかしながら、平行平板のキャパシタンスが形成されない場合、(式 4) からなる力は発生せず可動電極 1702 を駆動する力は非常に小さくなってしまう。このように、可動電極が信号伝達用固定電極 1703 に接触した状態においても、可動電極側面に形成された複数の凸部と凹部と、可動電極駆動用固定電極に形成された凹部と凸部は垂直方向に重なった部分を有する構造とすることで、大きな静電力を発生することが可能となる。

(実施の形態 10)

以下本発明の実施の形態 10 について図面を用いて具体的に説明する。

【0102】

図 16 は可動電極が信号伝達用固定電極へ接触した場合、可動電極が長手方向に g だけずれた場合の可動電極 1802 および可動電極駆動用固定電極 1801 の位置を模式的に示した図である。可動電極 1803 がずれたため本来の可動電極側面に形成された凸部と可動電極駆動用固定電極 1801 に形成した凹部とで形成される所定の空間 d に対して、 $d - g$ だけ狭くなっている。この状態で、可動電極 1802 と可動電極駆動用固定電極 1

801に働く力は、実施の形態3の場合と同様の考え方が適用でき、可動電極1802および可動電極駆動用固定電極間1801にVの電圧を印加した場合の距離x移動した点での、両電極の基板平面方向に働く力は(式6)に従う力が働く。

【0103】

【数6】

$$F(x) = -\frac{V^2}{2} \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{n}{2} h l \epsilon_0 \left\{ \frac{1}{(d-g-x)^2} - \frac{1}{(d+g+x)^2} \right\} V^2 \quad (6)$$

【0104】

可動電極1802と可動電極駆動用固定電極1801間に電圧を印加し続けた場合、実施の形態3の場合と同様、可動電極1802の動きを阻害するだけではなく破壊を起こすという問題が発生するが、可動電極1802と可動電極駆動用固定電極間1801に電圧を印加する時間を、可動電極1802の側面に形成された凸部と可動電極駆動用固定電極1801に形成した凹部とで形成される所定の空間と可動電極駆動用固定電極1801の凸部と可動電極1802の側面の凹部とで形成される所定の空間の中で最も短い距離、本実施の形態においてはd-gの距離の移動に必要な時間以下とすることで、可動電極1802が可動電極1802の長手方向にずれた状態で信号伝達用固定電極に接触した場合においても電極の接触による動作の阻害、破壊を防ぐことが可能となる。

(実施の形態11)

以下本発明の実施の形態11について図面を用いて具体的に説明する。

【0105】

図17(a)は本発明を適用した場合の、図17(b)は適用しなかった場合のスイッチの接続切断の様子を示す。図17(a)に示すごとく本発明を適用した場合、信号伝達用固定電極に大きな信号が入力した場合においても可動電極は切断したままの状態である。一方適用しなかった場合、図17(b)に示すごとく可動電極と可動電極駆動用固定電極間への電圧の印加は可動電極と信号伝達用固定電極間の印加電圧を与えた状態から与えない状態へと変化させた時のみパルスのみを与え、以降可動電極と可動電極駆動用固定電極間へは電圧を印加しなくても可動電極は切断状態を保ったままである。しかしながら、信号伝達用固定電極に流れる信号がある一定以上の電圧になった場合、可動電極と信号伝達用固定電極間に信号に起因する静電引力が働き、可動電極が接続状態となる誤動作を起こしてしまう。このように、本発明を適用することで、信号伝達用固定電極を通過する信号により可動電極が信号伝達用固定電極と接触することを防ぐことが可能となる。

(実施の形態12)

以下本発明の実施の形態12について図面を用いて具体的に説明する。

【0106】

図18は入出力スイッチに本発明のスイッチを適用した場合の無線回路の例である。アンテナ2007と入力側増幅器、および、アンテナ2007と出力側増幅器の切り替えを行うために、各増幅器の出力間に直列ならび対接地に2つのスイッチを形成したものである。各々1つのスイッチを配置することで、出力側増幅器接続点2001とアンテナ2007間の接続時は、出力側直列接続スイッチ2003が接続状態となり同時に出力側対接地接続スイッチ2004が切断状態となることで、出力側増幅器とアンテナ間が接続され、さらに入力側増幅器接続点2002とアンテナ間に入力側直列接続スイッチ2005が切断状態となり、さらに入力側対接地スイッチ2006が接続状態となることでより完全な切断状態が達成される。

【0107】

一方、入力側増幅器接続点とアンテナ間の接続時は、入力側直列接続スイッチ2005が接続状態となり、さらに入力側対接地スイッチ2006が切断状態となることで、入力側増幅器とアンテナ間が接続され、出力側増幅器接続点とアンテナ間は出力側直列接続ス

イッチ 2003 が切断状態となり同時に出力側対接地接続スイッチ 2004 が接続状態となることで、より完全な切断状態が達成される。

【0108】

本発明のスイッチを無線回路に適用する場合、入力側出力側共に直列接続スイッチの信号伝達用固定電極がアンテナ側に接続され、対接地スイッチの可動電極と接地側を接続することで、可動電極と可動電極駆動用固定電極間の寄生容量により発生する損失および切断不良を最小限に抑えることが可能となる。

【0109】

図 19 は実施の形態 12 をスイッチに適用した斜視図である。図 19 は入力側もしくは出力側となる片側のみの記載である。直列接続スイッチ 2101 の信号伝達用固定電極がアンテナと接続され、可動電極は対接地接続スイッチ 2102 の信号伝達用固定電極および増幅器へと接続されている。一方、対接地接続スイッチ 2102 の可動電極は接地側へと接続されている。

【0110】

増幅器とアンテナ間を接続する場合、直列接続スイッチ 2101 の可動電極、信号伝達用固定電極間は接続状態に、対接地接続スイッチ 2102 の可動電極、信号伝達用固定電極間は切断状態となる。この状態では、対接地接続スイッチ 2102 の可動電極と可動電極駆動用固定電極間の寄生容量の増加のみ信号の損失に関与する。一方、増幅器とアンテナ間を切断する場合、直列接続スイッチ 2101 の可動電極、信号伝達用固定電極間は切断状態に、対接地接続スイッチ 2102 の可動電極、信号伝達用固定電極間は接続状態となり、信号の損失や切断不良に寄与する寄生容量の増加は発生しない。このように、本実施の形態を適用することで寄生容量の増加が発生する部分が 1 カ所だけとなり損失および切断不良を最低限に抑えることが可能となる。

(実施の形態 13)

以下本発明の実施の形態 13 について図面を用いて具体的に説明する。

【0111】

一般的に、本発明のようなメカニカルなスイッチを構成する場合、梁構造を導電性材料、基板をシリコンなどの半導体材料で形成する場合が多い。このため、従来の課題で示したように、動作環境が変動し、温度変化が生じた場合、梁材料と基板材料の熱膨張係数の差から、応力が変化する。この応力変化を (式 7) に示す。S'11、S'12 は、それぞれ結晶方向に対するコンプライアンスを示し、 $\Delta\alpha$ は熱膨張係数の差、 Δt は温度変化を示す。

【0112】

【数 7】

$$\sigma_{11} = \frac{1}{((S')_{11} + (S')_{12})} \cdot \Delta\alpha \cdot \Delta t \quad (7)$$

【0113】

いま、梁をアルミニウム、基板をシリコンとすると、それぞれ熱膨張係数は $24 \times 10^{-6} [1/K]$ 、 $3.0 \times 10^{-6} [1/K]$ となるため、温度差 100°C が生じた場合、応力変化は 238 MPa にもなる。

【0114】

図 22 に梁の内部応力と応答時間の関係を示す。ここでは、梁の幅を $5 \mu\text{m}$ 、長さ $400 \mu\text{m}$ 、梁の厚みを $0.7 \mu\text{m}$ の場合を示している。梁の内部応力が変化すれば、梁のばね定数が変化するが、静電力に対して、ばね力が十分小さい範囲では、静電力が支配的になるため、応答時間には影響がでてこない。ただし、従来の例で示したように、内部応力が変化し、残留応力が 0 付近になると、重力の影響が無視できなくなり梁が撓む。このとき、従来例のような信号線の電極と可動電極のみで構成される構造では、最大撓み分を考慮して、可動電極と固定電極のギャップを設計をする必要がある。このため、内部応力が

0となる温度でも、所望のギャップが得られるように、梁と電極間の距離を十分に離す必要がある。そのため、ある温度では必要以上のギャップがあるため、必然的に応答時間が遅くなる。

【0115】

そこで、本実施の形態では、例えば、図3に示す状態において、温度が変化しても、ギャップが減少しないように、可動電極と可動電極駆動用固定電極間に静電力を印加しておけば、温度が変化しても、常に可動電極は可動電極駆動用電極に引っ張り上げられている。いわゆる温度補償機能を有することになる。

(実施の形態14)

以下本発明の実施の形態14について図面を用いて具体的に説明する。

【0116】

実施の形態1から13までは、信号伝達用固定電極に信号を入力する構成をとっているが、これは図15に示したように、可動電極が信号伝達用固定電極と接触した状態において、可動電極駆動用固定電極との間に、キャパシタンス容量形成領域が生じるためである。つまり仮に可動電極に信号を入力して、固定電極に信号を伝達する構成をとった場合、可動電極と固定電極が接触している状態においても、可動電極が可動電極駆動用電極とも結合するので、信号の損失が発生する。しかしながら、レイアウトの自由度を高めるためには、可動電極側に信号を入力する構成をとる必要がある。

【0117】

そのような場合は、図23に示すように、櫛歯電極の幅 a を狭くし、線路からみて櫛歯のインピーダンスを高くすることで、櫛歯電極側に高周波信号が進行しないようにする。可動電極と可動電極駆動用電極間に静電力を発生させるためには、直流電位を印加するため、櫛歯には電位が印加されるが、櫛歯領域は、インピーダンスが高くなっているため、高周波信号が櫛歯には入っていない構成となっている。このため、可動電極と可動電極駆動用電極が櫛歯部を介して、高周波信号が結合することはない。

【0118】

例えば櫛歯の幅 a を $10\mu\text{m}$ 、長さ h を $20\mu\text{m}$ 、櫛歯間のギャップ b を $0.6\mu\text{m}$ とした図12(a)の場合、櫛歯の形状を同じであるが、櫛歯の根元に幅 $0.5\mu\text{m}$ のステップ的なインピーダンスとなるような線路構造を持たせた図23(b)の場合において、櫛歯間に高周波信号が結合するため損失が変化する。図23(a)の状態と図23(b)の状態では損失が変化するようになる。仮に櫛歯の数を200個とした場合、0.1dB程度の差が生じる。当然櫛歯の数が多いほどこの効果は有用となってくる。

【0119】

また同様な理由として、図24に示すような構成も高周波信号の櫛歯間での結合を防ぐ目的で有用となる。

【0120】

当然、ステップ的な構造でなく、櫛歯の幅を小さくすることでインピーダンスを高める方法でもよい。また、櫛歯の部分だけ、抵抗成分が高い材質で構成することで、高周波信号の結合を防いでもよい。

【産業上の利用可能性】

【0121】

本発明にかかるスイッチは、信号伝達時の伝達効率並びに切断時の絶縁性、または信号の接続切断の高速な動作が要求される無線回路等のスイッチとして有用である。

【図面の簡単な説明】

【0122】

【図1】 本発明の実施の形態1によるスイッチの斜視図

【図2】 図1のA-A'断面図

【図3】 図1のB-B'断面図

【図4】 図1のA-A'断面においてスイッチの接続状態を示す断面図

【図5】 図1のB-B'断面においてスイッチの接続状態を示す断面図

【図 6】本発明の実施の形態 2 のおける動作を説明するための電極間で形成されるキャパシタンスを示す模式図

【図 7】(a) 本発明の実施の形態 3 におけるスイッチの、可動電極と可動電極駆動用固定電極の位置を示す模式図 (b) 本発明を適用しないスイッチの、可動電極と可動電極駆動用固定電極の位置および静電力を示す模式図

【図 8】(a)、(b)、(c) 本発明の実施の形態 4 によるスイッチの製造方法を説明する工程断面図

【図 9】(a) 乃至 (e) 本発明の実施の形態 5 によるスイッチの製造方法を説明する工程断面図

【図 10】(a)、(b)、(c) 本発明の実施の形態 5 による他のスイッチの製造方法を説明する工程断面図

【図 11】(a) 乃至 (e) 本発明の実施の形態 6 によるスイッチの製造方法を説明する短辺方向側面の工程断面図

【図 12】(a) 乃至 (e) 本発明の実施の形態 6 によるスイッチの製造方法を説明する長辺方向側面の工程断面図

【図 13】本発明の実施の形態 7 によるスイッチの斜視図

【図 14】(a)、(b) 本発明の実施の形態 8 による他のスイッチの製造方法を説明する工程断面図

【図 15】本発明の実施の形態 9 によるスイッチの動作を説明するための、可動電極と可動電極駆動用固定電極、信号伝達用固定電極および絶縁保持用酸化膜の位置を示す模式図

【図 16】本発明の実施の形態 10 によるスイッチの動作を説明するための、可動電極と可動電極駆動用固定電極の位置と両電極間に働く力を示す模式図

【図 17】(a)、(b) 本発明の実施の形態 11 によるスイッチの動作を説明するための、時間軸に対する印加電圧、信号伝達用固定電極に流れる信号および可動電極の接続切断状態を示す特性図

【図 18】本発明の実施の形態 12 による無線回路の一例を示す回路図

【図 19】本発明の実施の形態 12 による無線回路におけるスイッチの要部の斜視図

【図 20】本発明の実施の形態 1 によるスイッチの応答特性図

【図 21】本発明の実施の形態 1 によるスイッチの櫛歯構造を示す拡大図

【図 22】本発明の実施の形態 13 によるスイッチの梁の内部応力と応答時間の関係を示す特性図

【図 23】本発明の実施の形態 14 における櫛歯部分の形状の一例を示す図

【図 24】本発明の実施の形態 14 における櫛歯部分の他の形状の一例を示す図

【図 25】従来のスイッチの一例を示す断面図

【図 26】従来のスイッチの接続状態を示す断面図

【図 27】従来の他のスイッチの斜視図

【図 28】従来の他のスイッチの斜視図

【符号の説明】

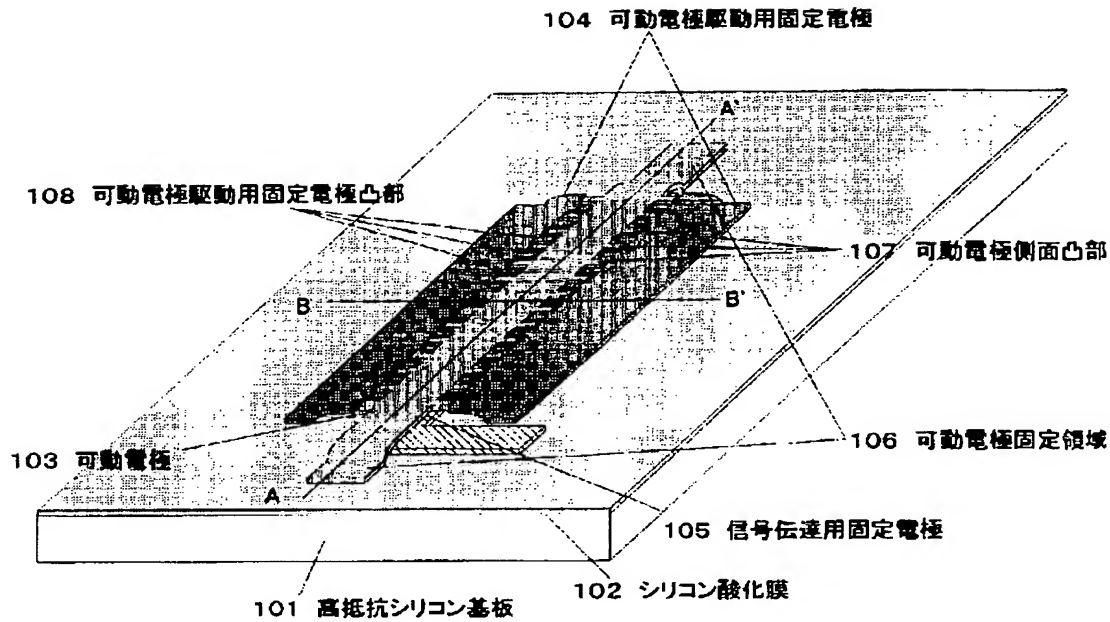
【0123】

- 101、801、901、1001、1501、1601 高抵抗シリコン基板
- 102、802、902、1002、1502、1602 シリコン酸化膜
- 103、602、702、808、909、1008、1503、1609、1702、1802 可動電極
- 104、604、701、809、910、1009、1504、1604、1610、1701、1801 可動電極駆動用固定電極
- 105、803、903、1003、1505、1603、1703 信号伝達用固定電極
- 107 可動電極側面凸部
- 108 可動電極駆動用固定電極凸部

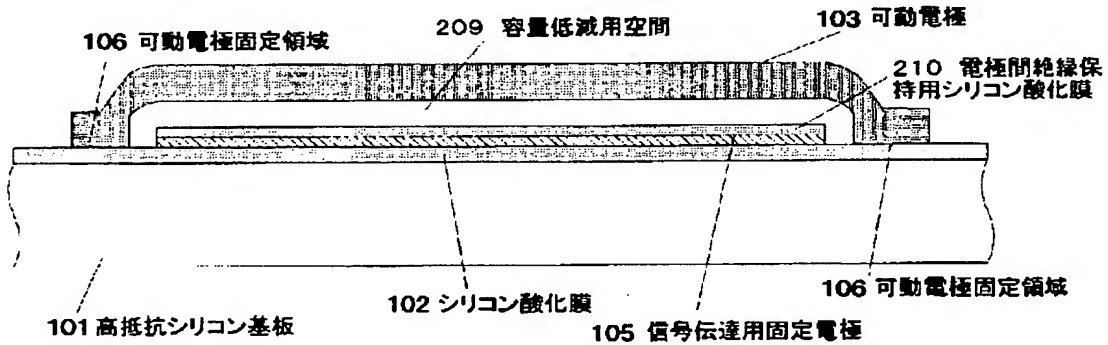
209、810、911、1010、1110、1611 容量低減用空間
210、804、904、1004、1704 電極間絶縁保持用シリコン酸化膜
805、906、1005、1106 犠牲層
806、1606 金属
807、1607 レジストマスク
905、1105、1108 段差緩和用パターン
908、1006 ALスパッタ堆積膜
1201 可動電極形成用マスク
1202 可動電極駆動用固定電極形成用マスク
1508、1612 犠牲層除去用穴
2001 出力側増幅器接続点
2002 入力側増幅器接続点
2003 出力側直列接続スイッチ
2004 出力側対接地接続スイッチ
2005 入力側直列接続スイッチ
2006 入力側対接地接続スイッチ
2007 アンテナ
2101 直列接続スイッチ
2102 対接地接続スイッチ
2103 アンテナ接続点
2104 増幅器接続点
2105 接地接続点
2106 直列接続スイッチ可動電極駆動用固定電極接続点
2107 対接地接続スイッチ可動電極駆動用固定電極接続点

【書類名】 図面

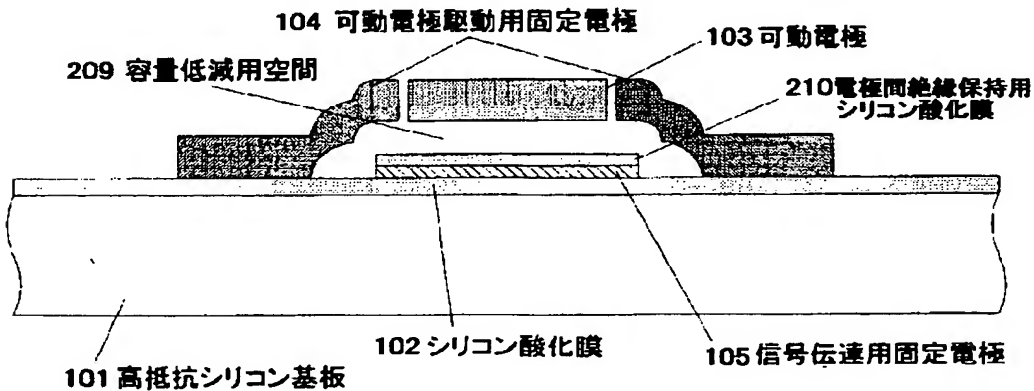
【図 1】



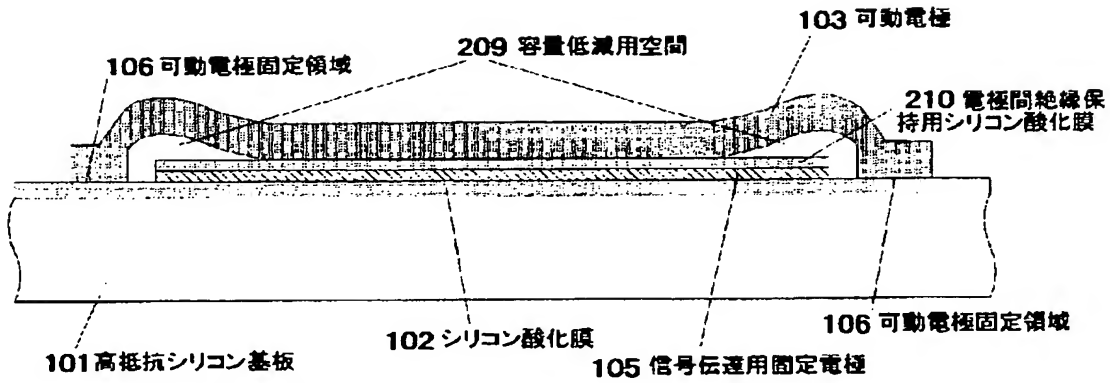
【図 2】



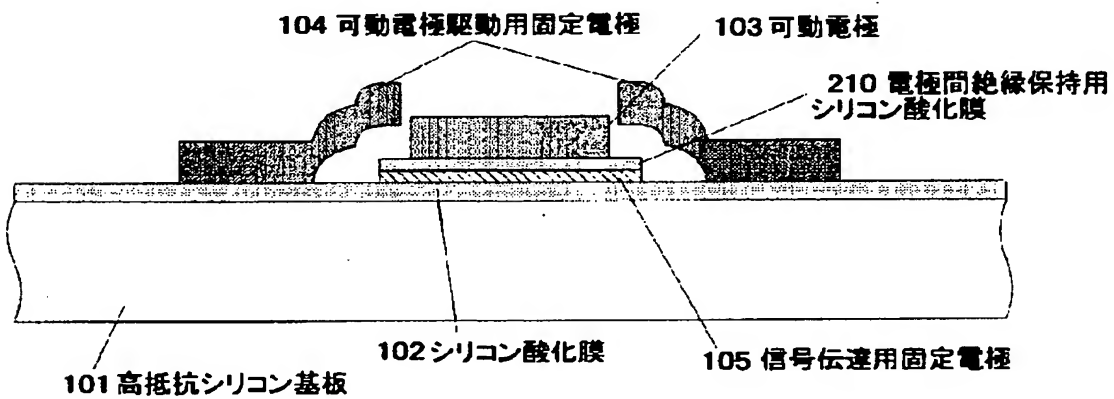
【図 3】



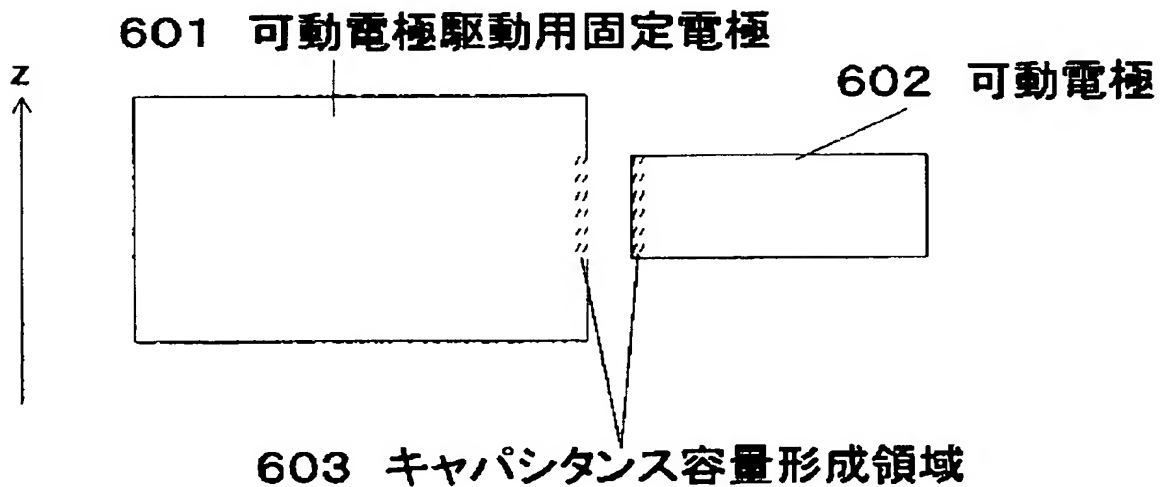
【図 4】



【図 5】

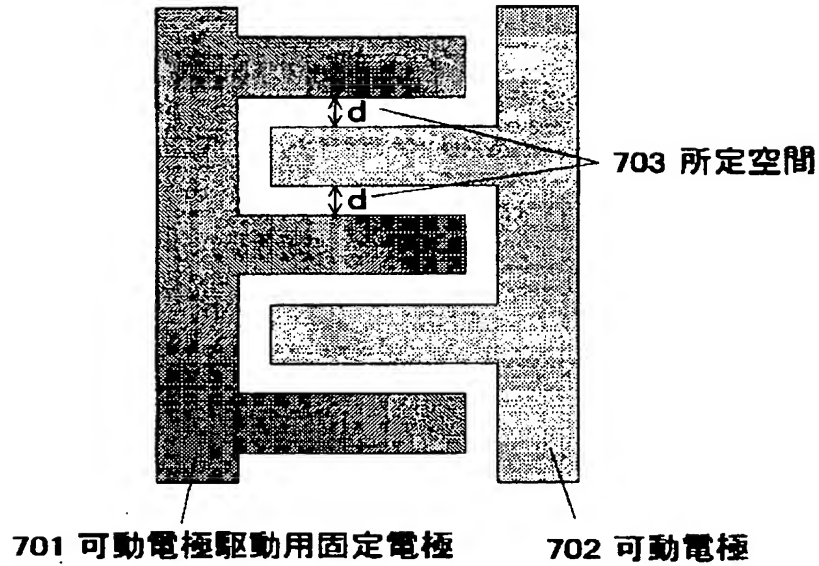


【図 6】

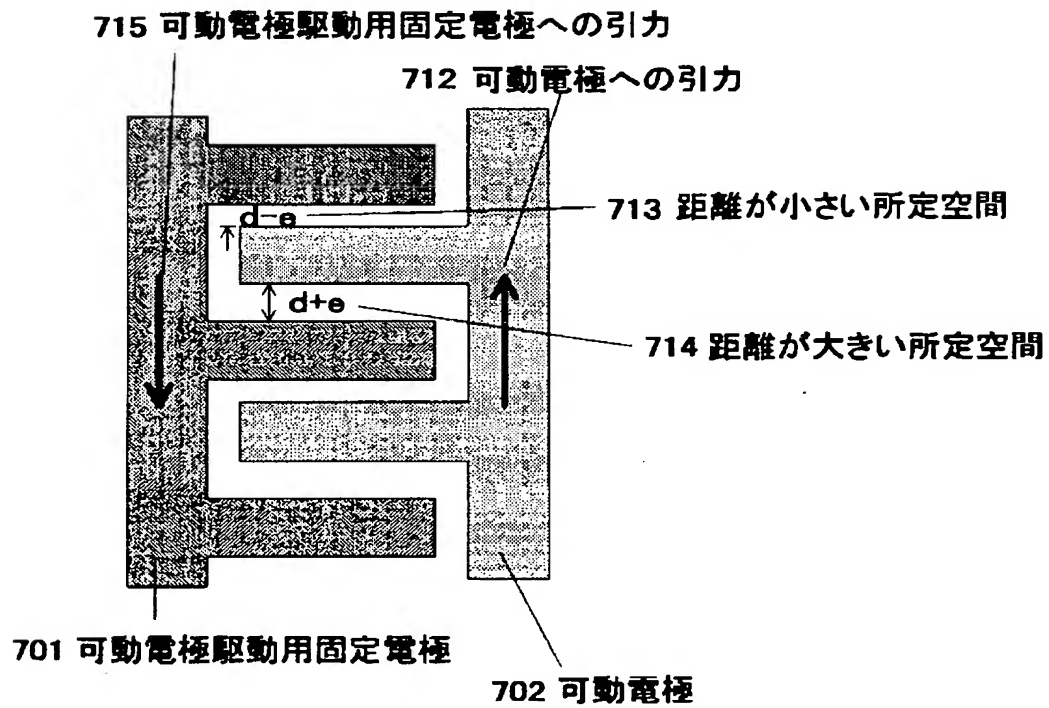


【図 7】

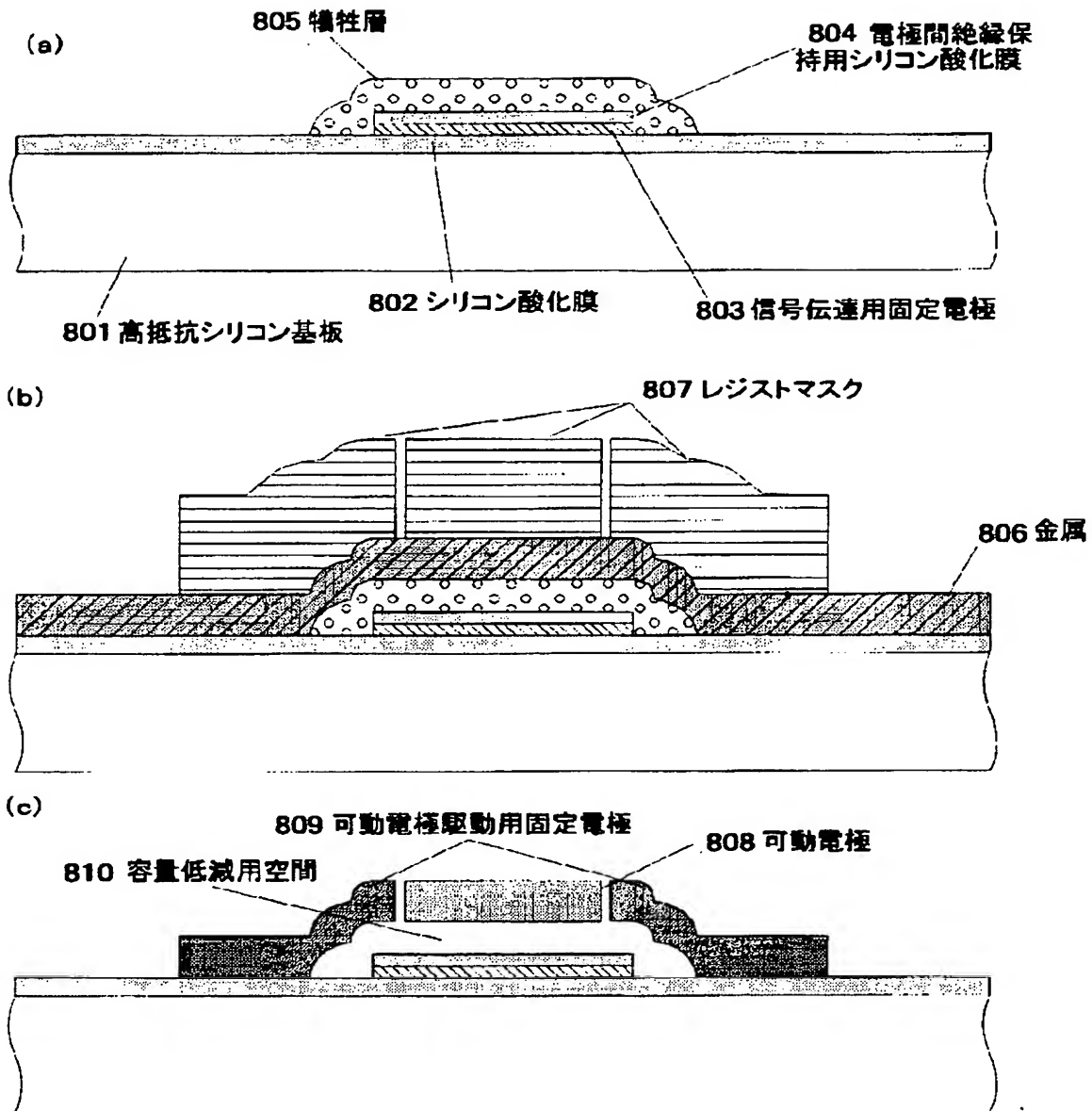
(a)



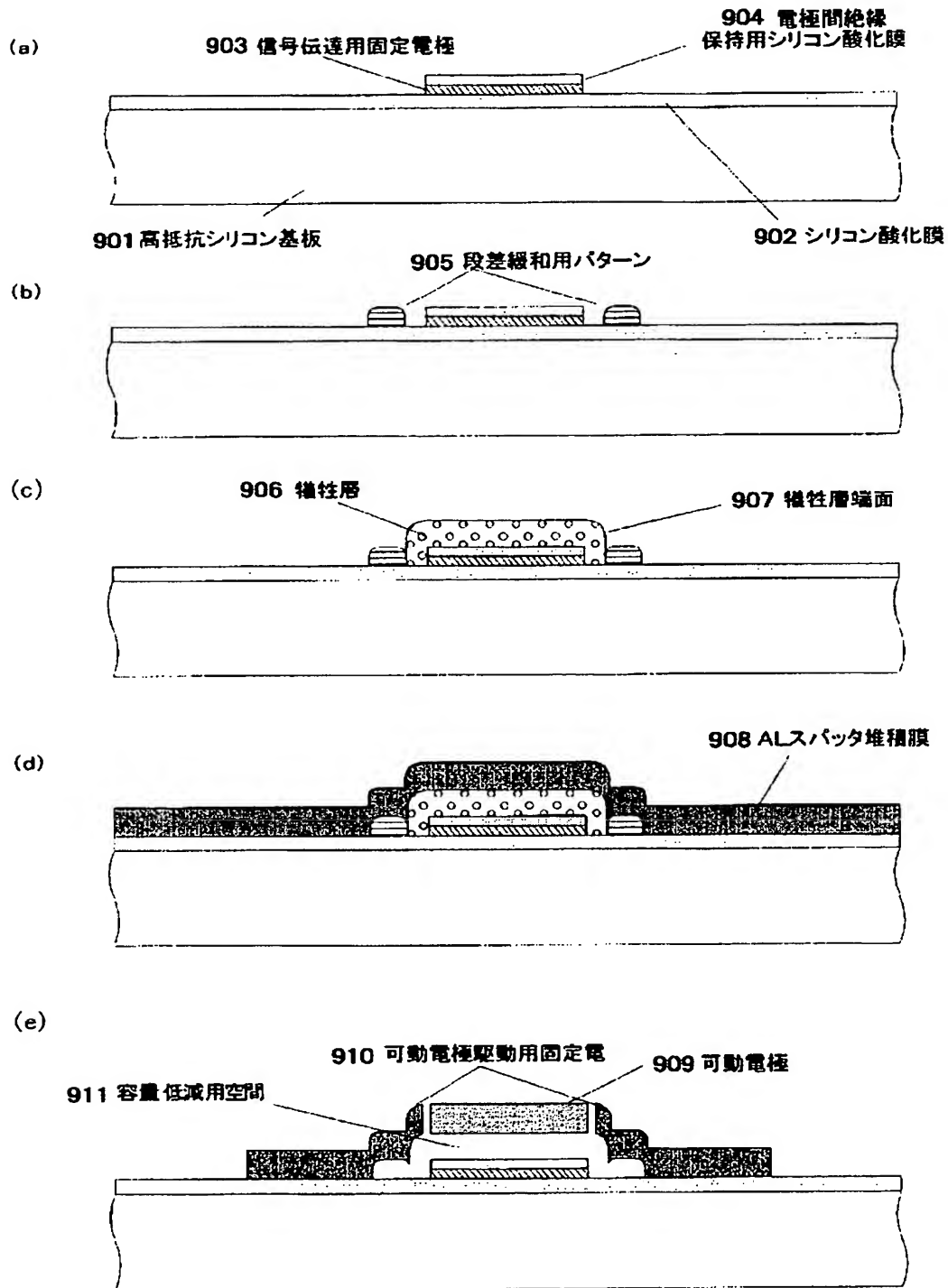
(b)



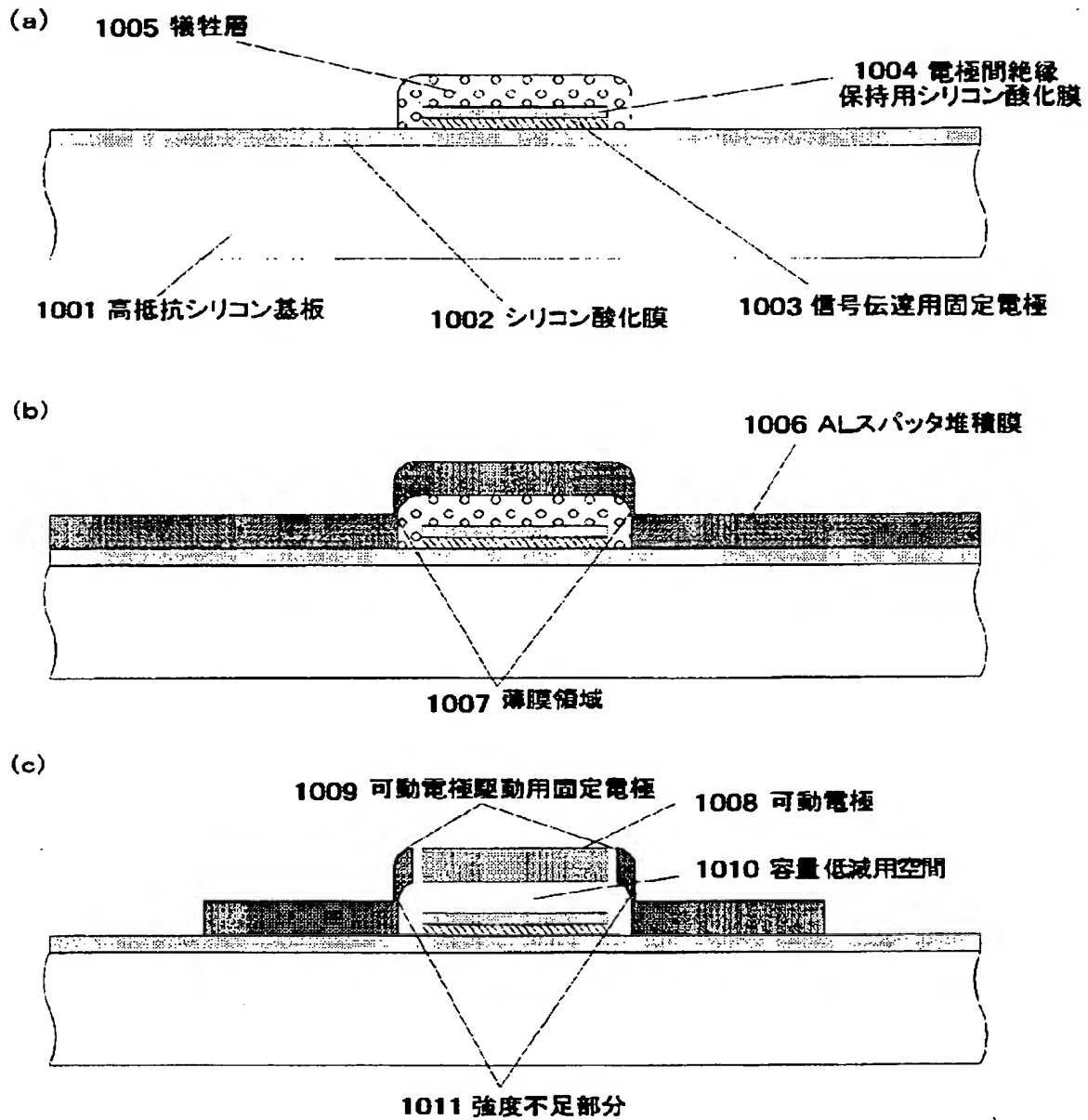
【図 8】



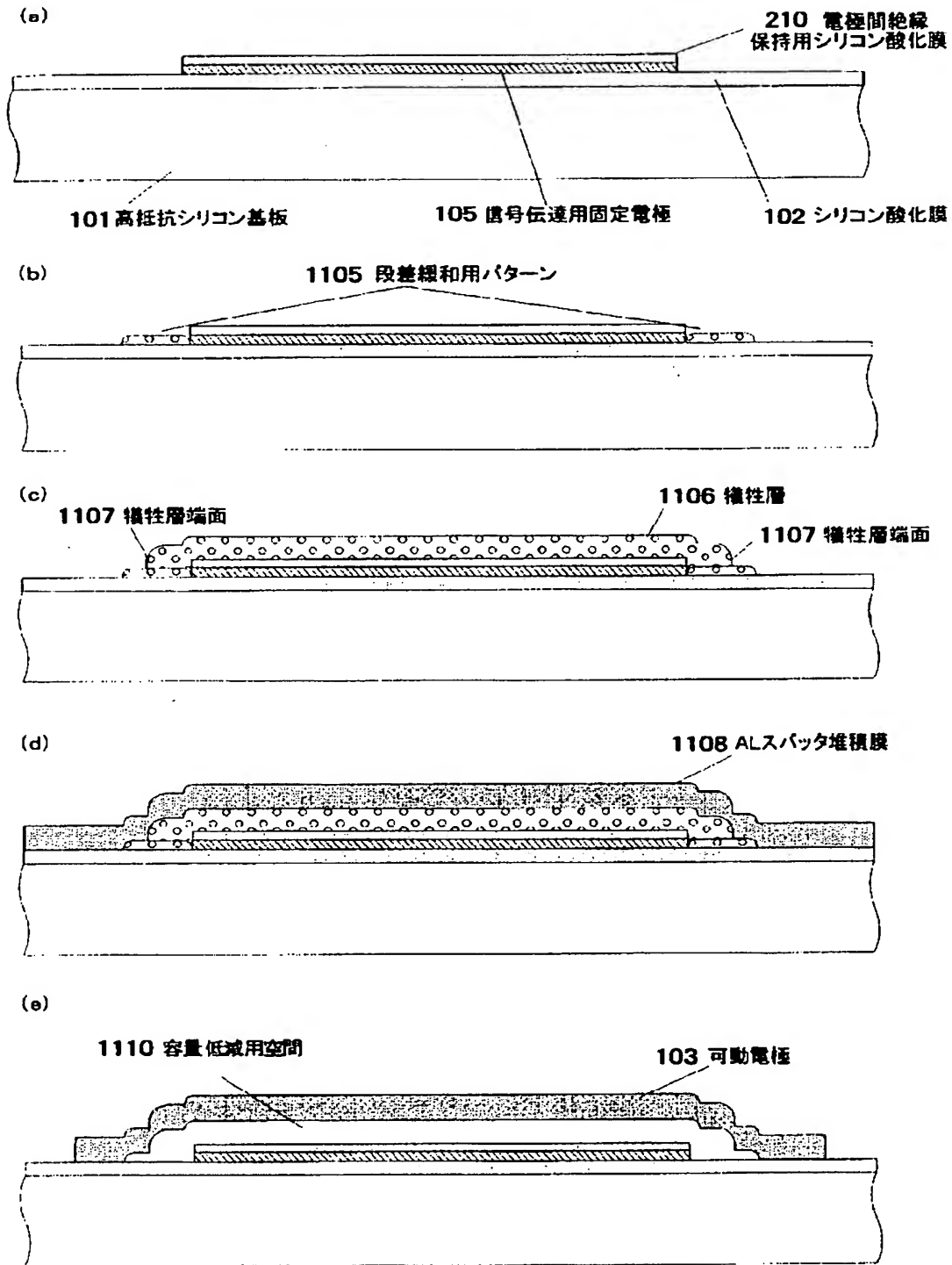
【図 9】



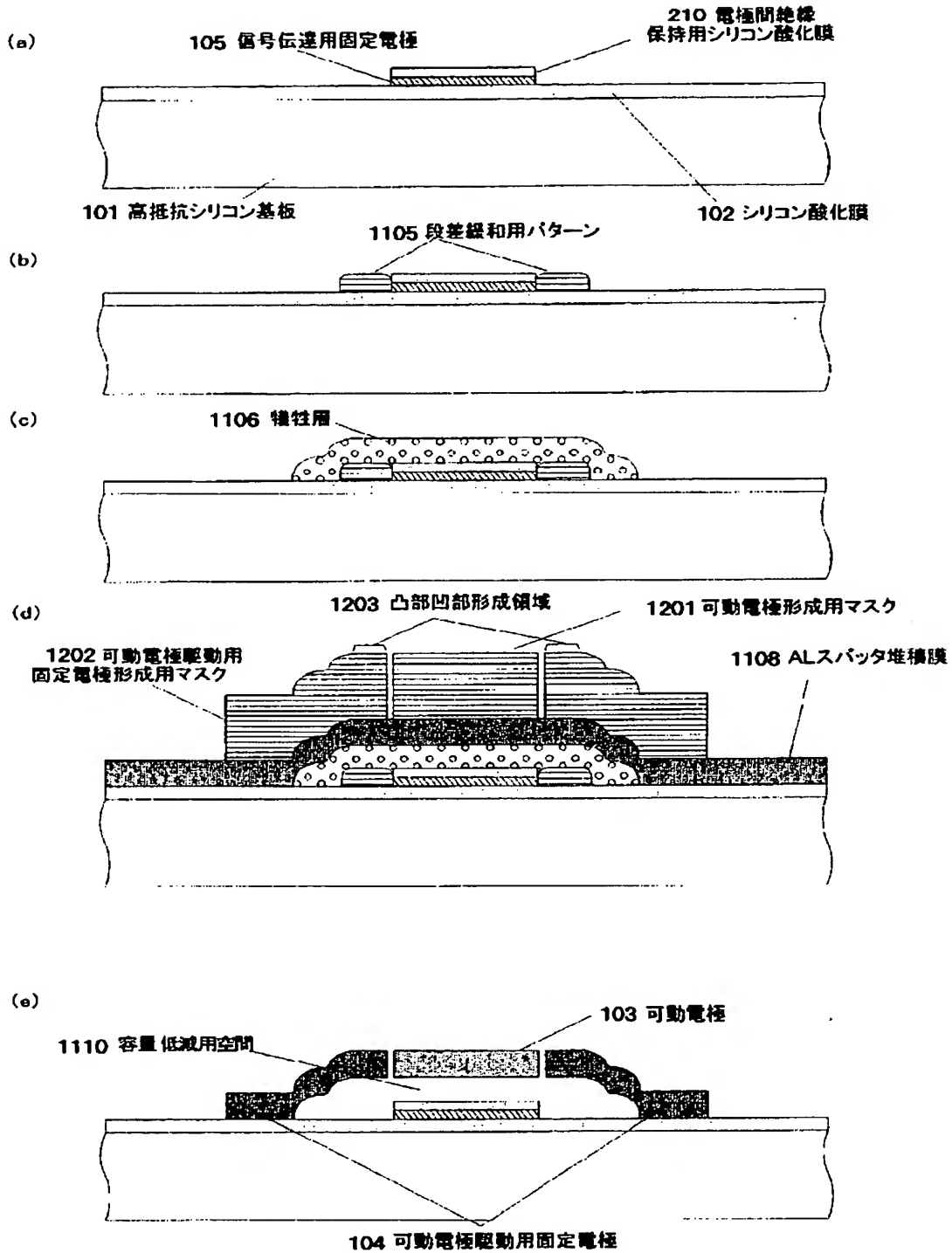
【図10】



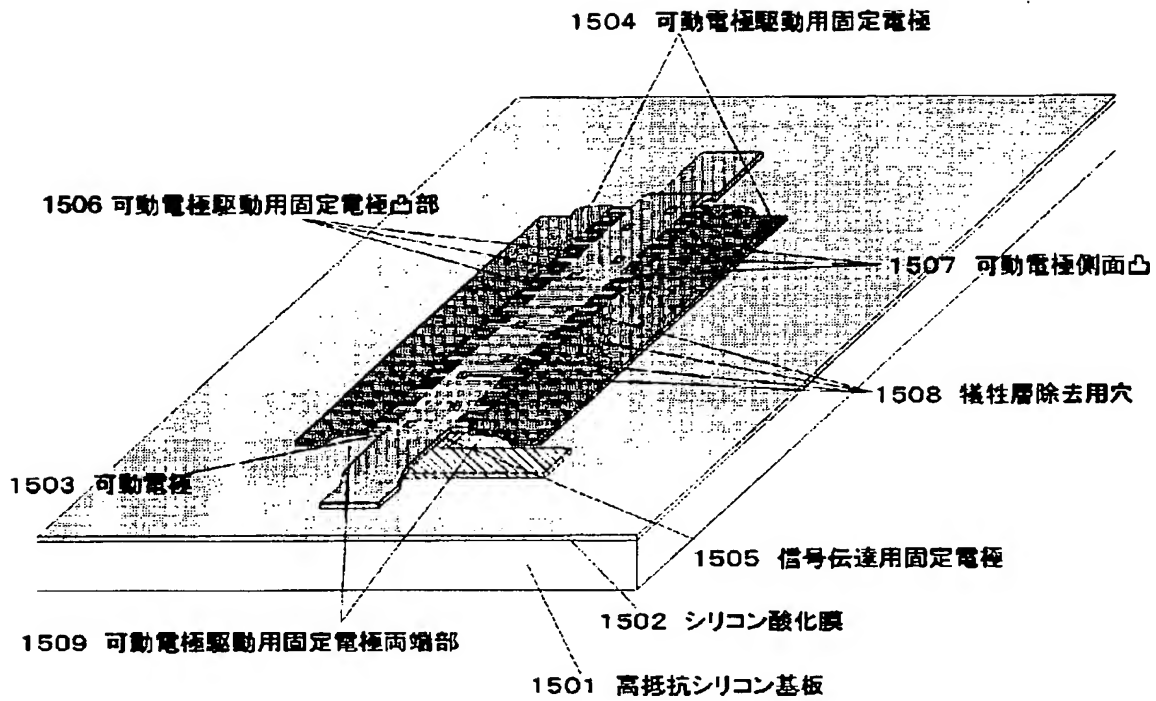
【図 11】



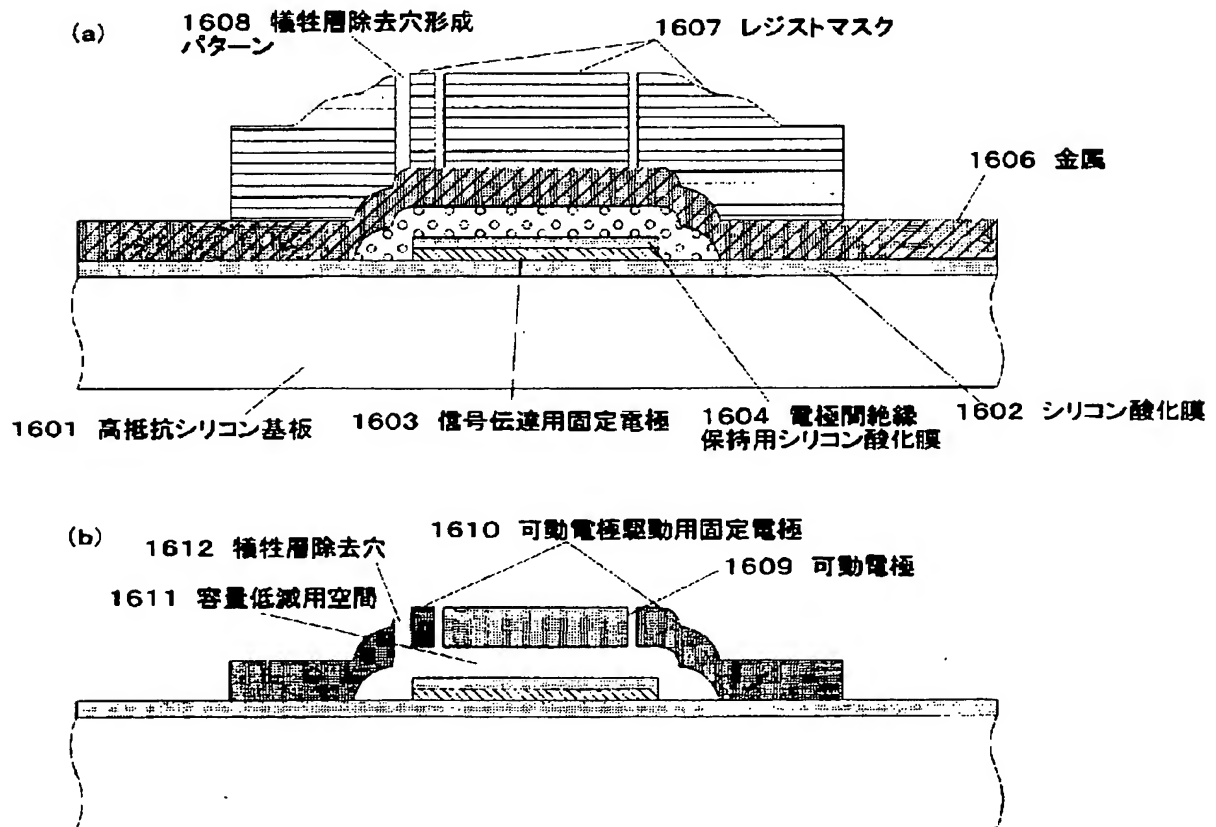
【図12】



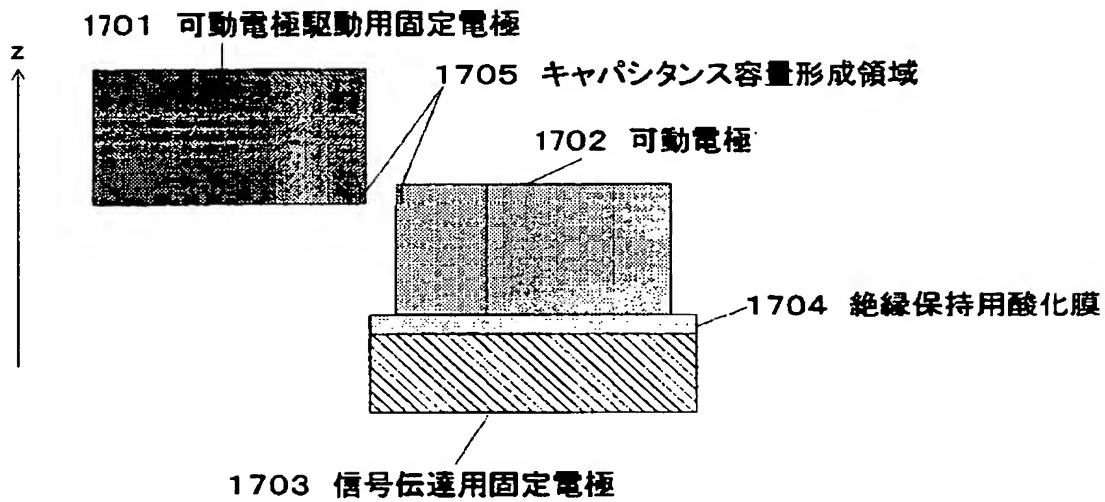
【図 13】



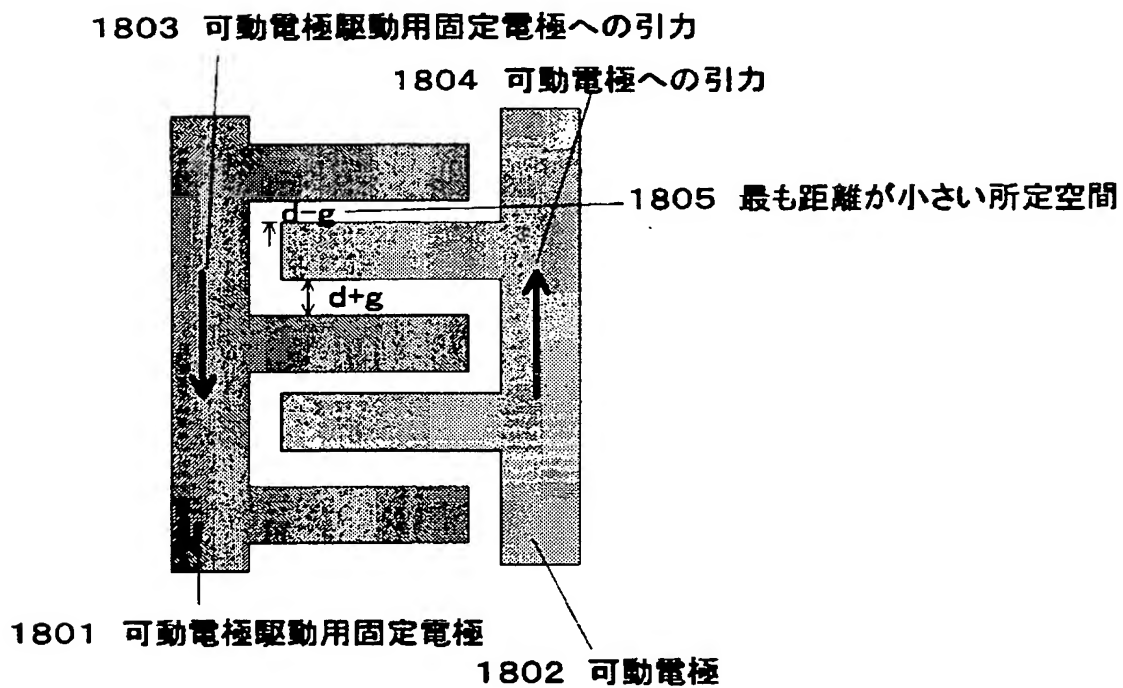
【図 14】



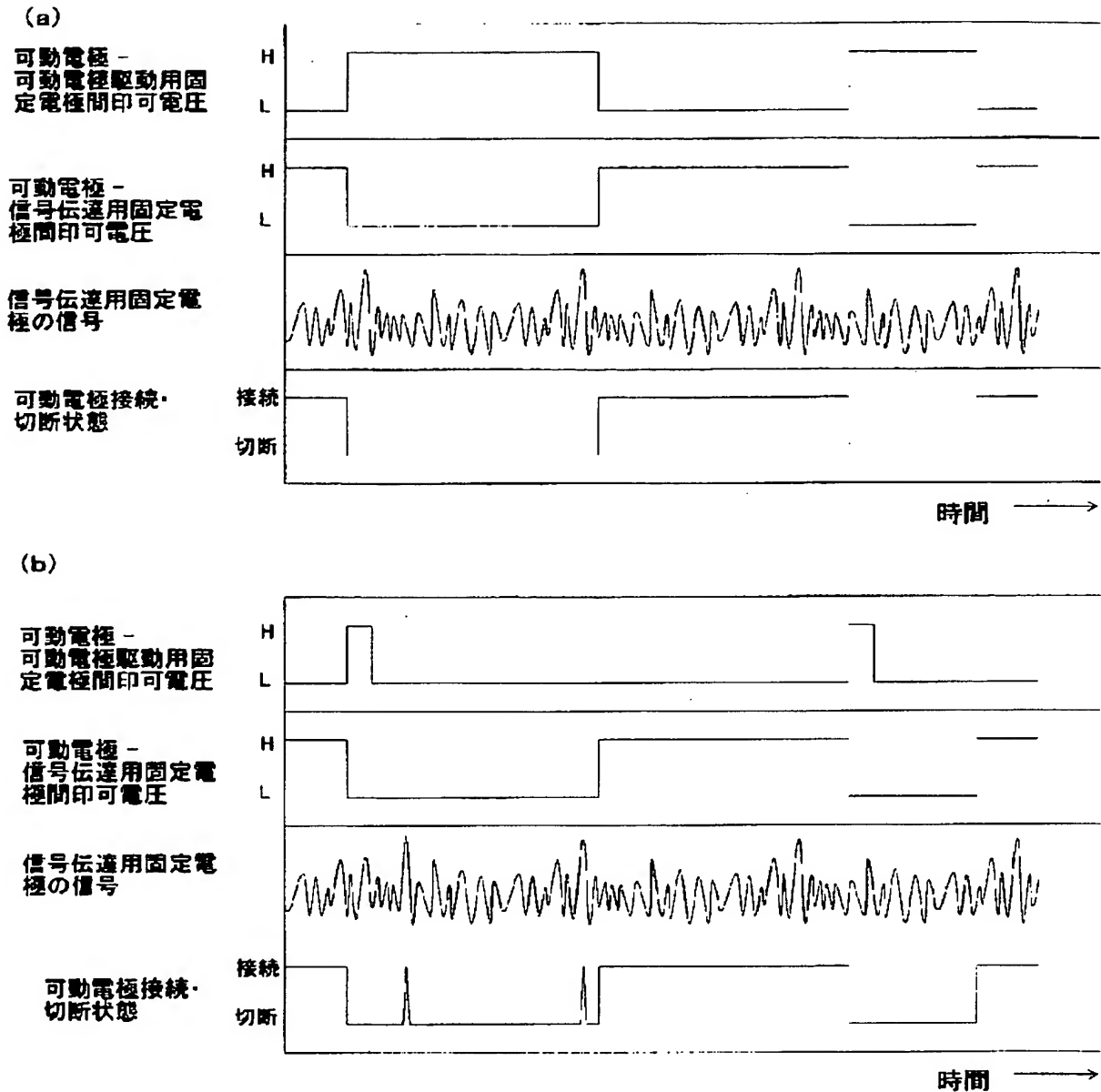
【図 15】



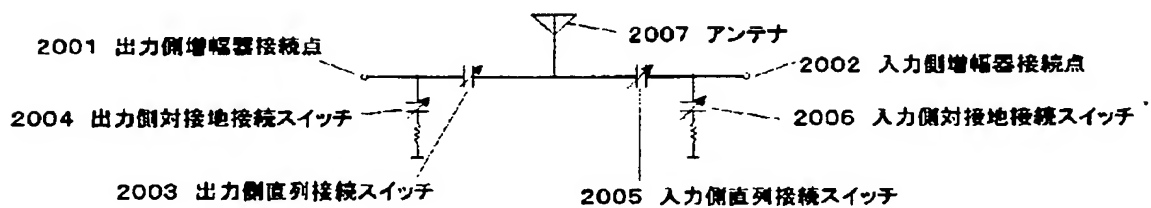
【図 16】



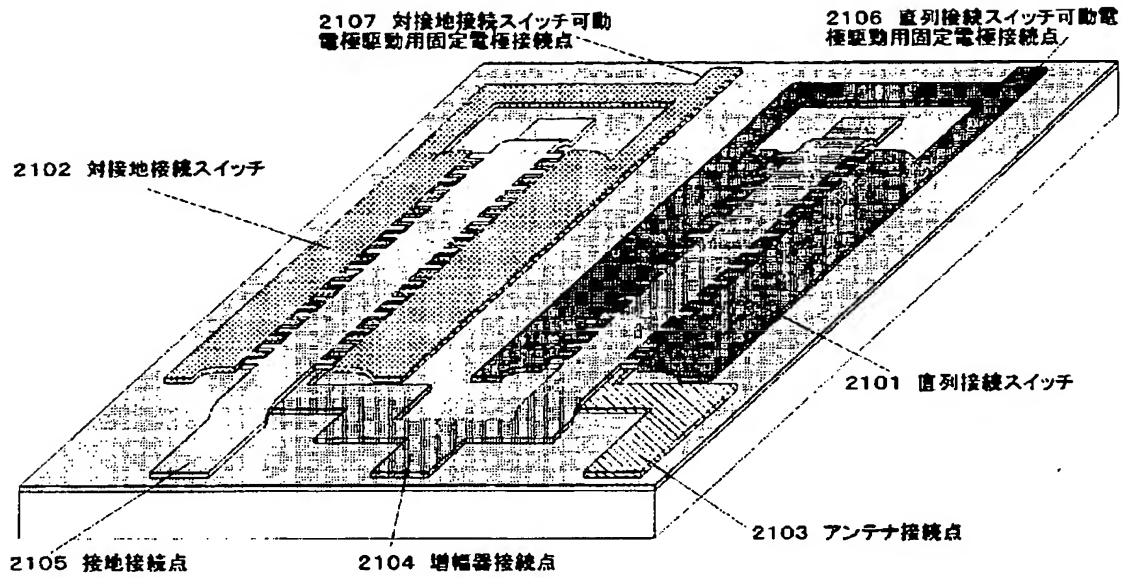
【図 17】



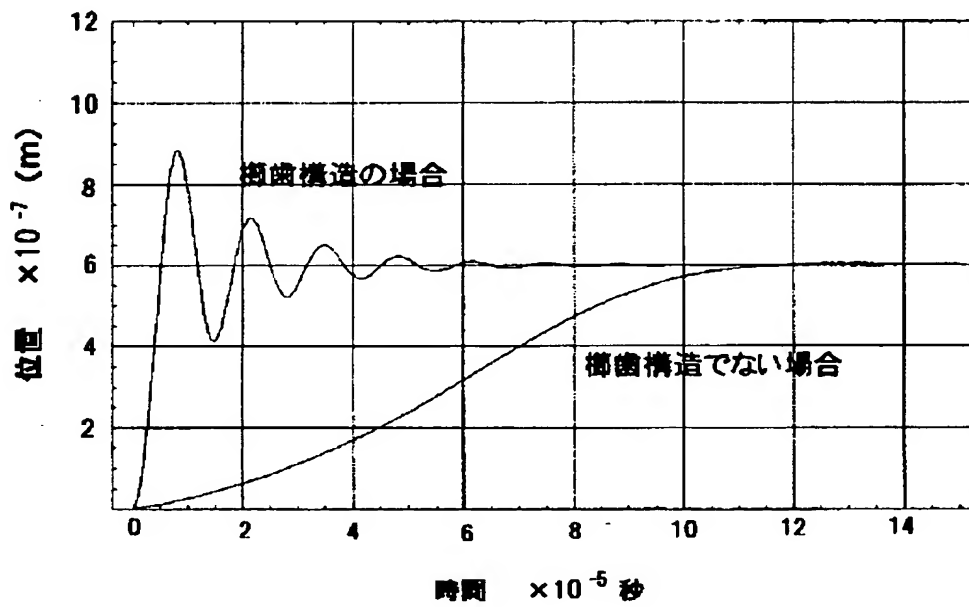
【図 18】



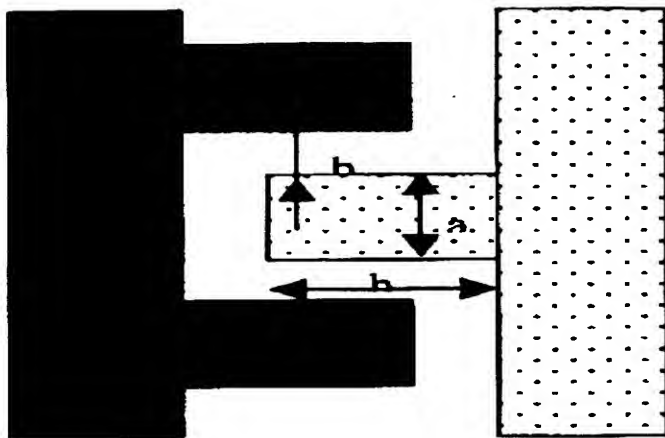
【図 19】



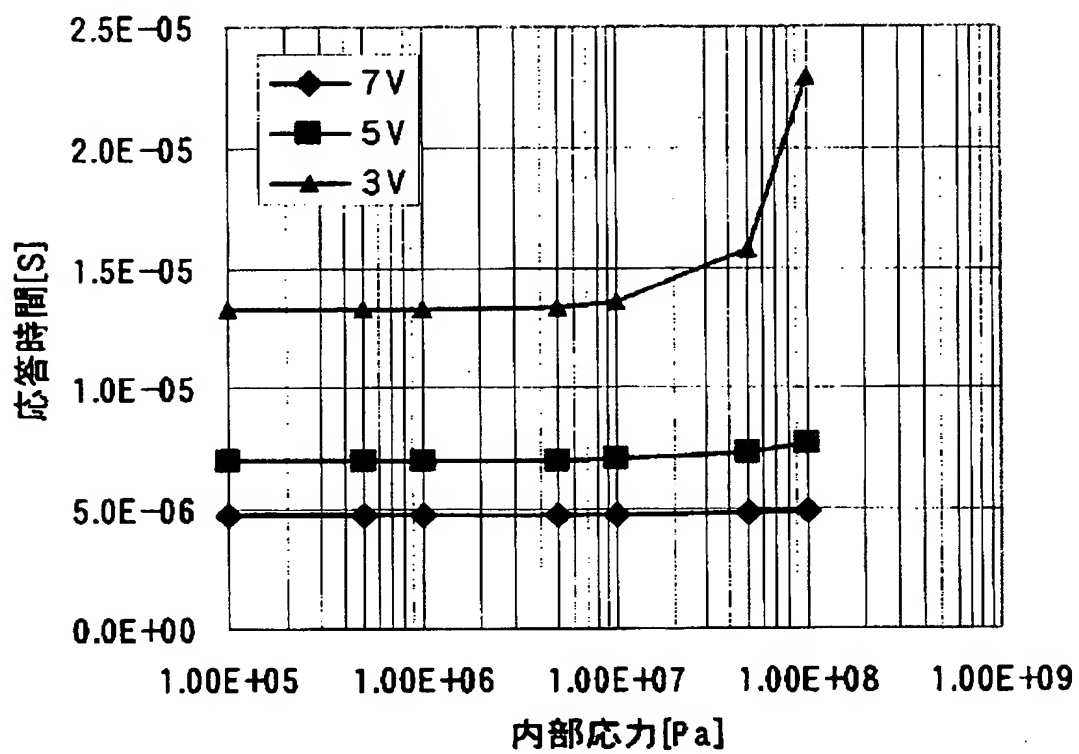
【図 20】



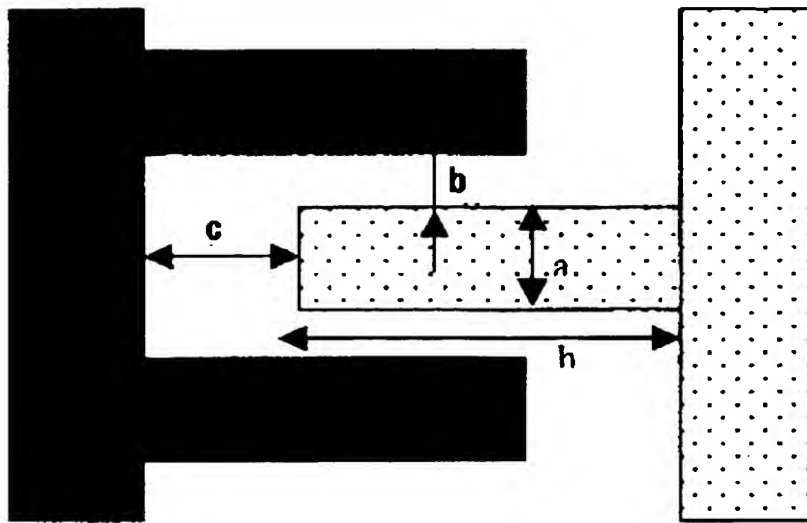
【図 2 1】



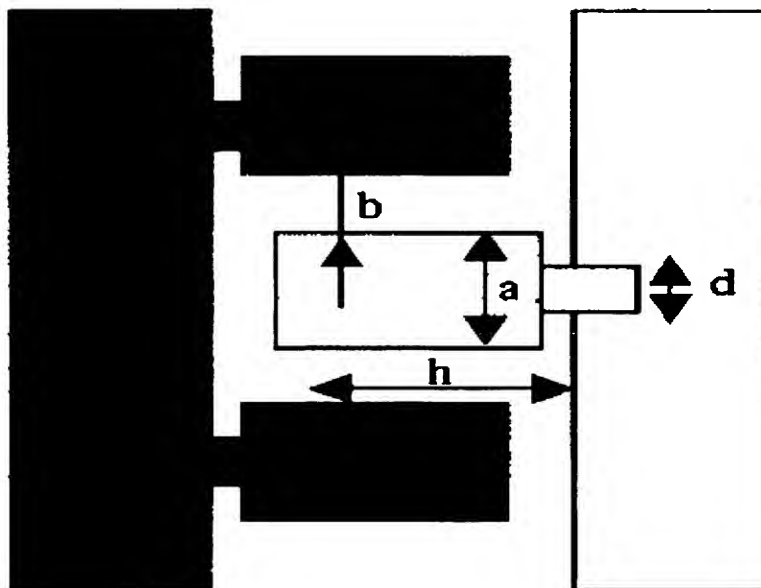
【図 2 2】



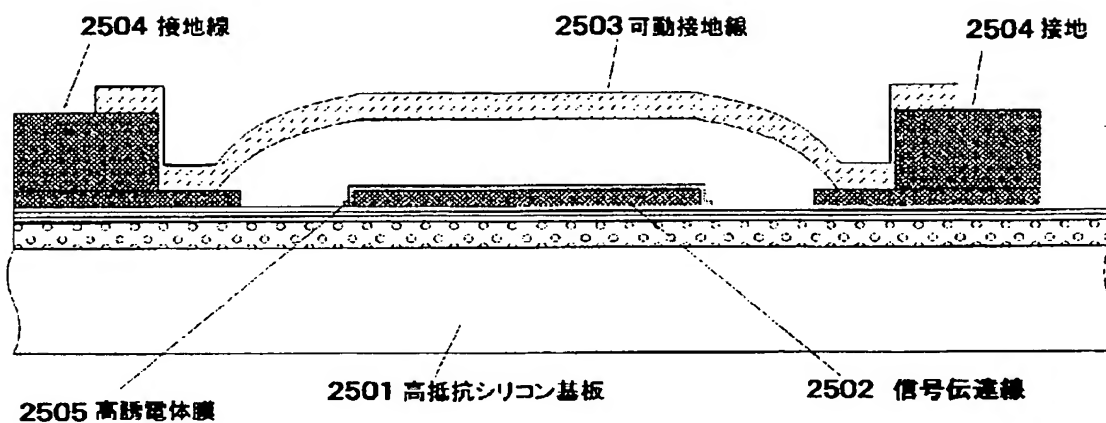
【図 23】



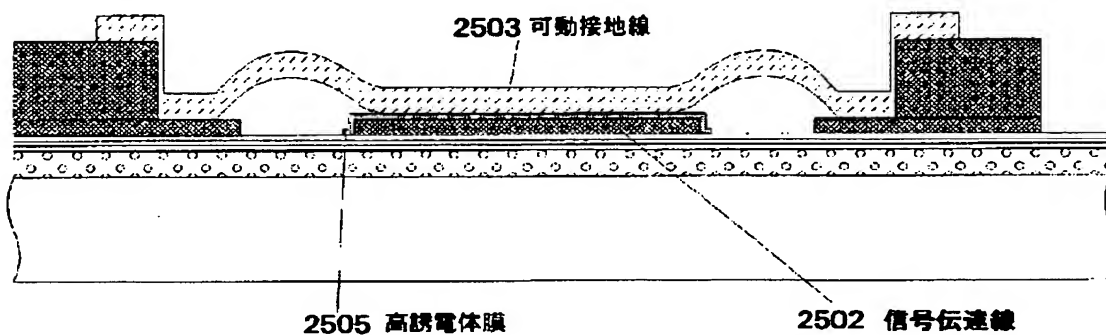
【図 24】



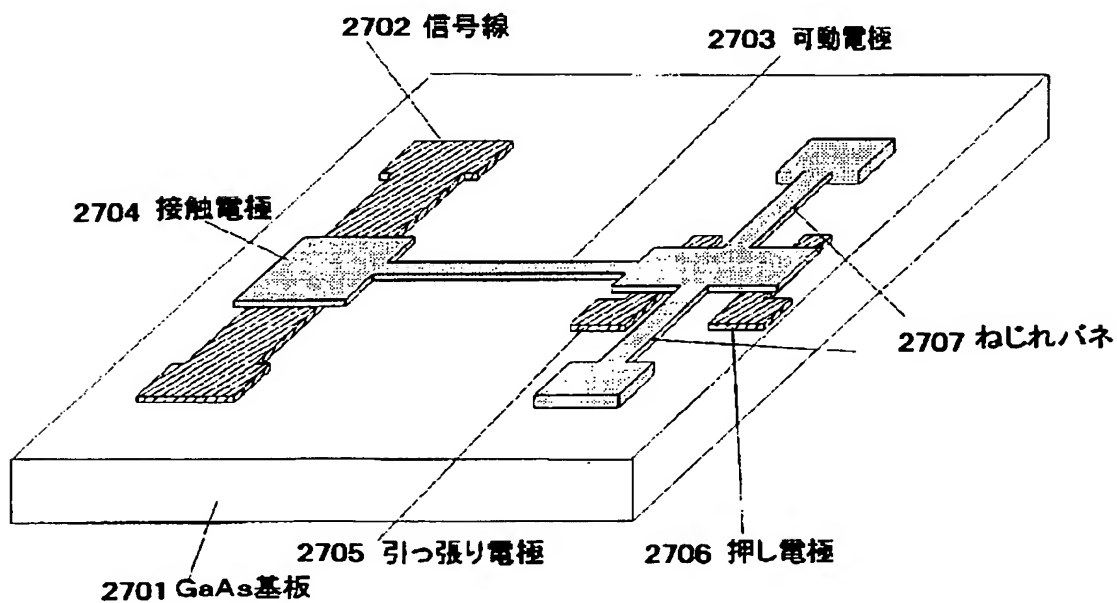
【図 25】



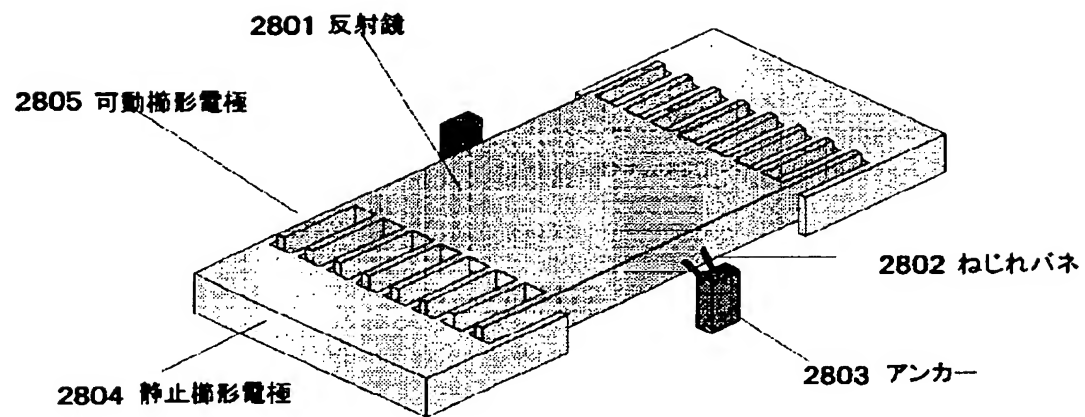
【図 26】



【図 27】



【図 28】



【書類名】 要約書**【要約】**

【課題】 複雑な工程を経ることなく従来の L S I プロセスとの親和性を得つつ、O N / O F F 時とも動作速度を向上させたスイッチを形成することである。

【解決手段】 高抵抗シリコン基板 1 0 1 上に可動電極 1 0 3、可動電極駆動用固定電極 1 0 4 および信号伝達用固定電極 1 0 5 を形成する。可動電極 1 0 3 の側面には凹部と凸部を形成し、可動電極駆動用固定電極 1 0 4 に空間を介して前記凹部と凸部に対応する凹部と凸部を形成することで、複雑な工程を追加することなく O F F 時の動作速度を向上させることができる。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 2 7 9 0 9 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 8 2 1]

1 . 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 8 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地

氏 名

松下電器産業株式会社